

PAT-NO: JP02000228003A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2000228003 A
TITLE: MAGNETO-RESISTIVE SENSOR AND PRODUCTION OF THIS
SENSOR
PUBN-DATE: August 15, 2000

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
SHIMAZAWA, KOJI	N/A
TSUCHIYA, YOSHIHIRO	N/A
ARAKI, SATORU	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
TDK CORP	N/A

APPL-NO: JP11030169

APPL-DATE: February 8, 1999

INT-CL (IPC): G11B005/39

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To impart a good exchange bond between a free layer and a second antiferromagnetic material by executing a stage for removing both ends of the free layer down to a prescribed depth prior to a heat treatment for magnetization direction control of a first antiferromagnetic material of a magneto-resistive(MR) laminate when forming a second antiferromagnetic material for exchange bonding for generating a longitudinal bias for controlling the magnetic domain of the free layer.

SOLUTION: A lower shielding layer 10 and a lower insulating layer 11 are formed on a substrate. A spin valve MR laminate 12 consisting of a first antiferromagnetic material layer 120, a first ferromagnetic material layer (pinned layer) 121, a nonmagnetic metallic layer 122, and a second ferromagnetic material layer (free layer) 123, and a cap layer 16 are deposited on the lower insulating layer 11. Both ends of the cap layer 16 are completely removed by dry etching and both ends 123a of the free layer 123 are removed down to

the
prescribed depth. A third ferromagnetic material layer 13, a second
antiferromagnetic material layer 14 and a lead layer 15 are formed and
thereafter, the regulation heat treatment of the first and second
antiferromagnetic material layers 12 and 14 is carried out.

COPYRIGHT: (C)2000, JPO

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-228003

(P2000-228003A)

(43)公開日 平成12年 8月15日 (2000. 8. 15)

(51)Int.Cl.⁷

G 1 1 B 5/39

識別記号

F I

G 1 1 B 5/39

テームト^{*}(参考)

5 D 0 3 4

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 26 頁)

(21)出願番号 特願平11-30169

(22)出願日 平成11年 2月 8日 (1999. 2. 8)

(71)出願人 000003067

ティーディーケイ株式会社

東京都中央区日本橋 1 丁目13番 1 号

(72)発明者 島沢 幸司

東京都中央区日本橋一丁目13番 1 号ティー
ディーケイ株式会社内

(72)発明者 土屋 芳弘

東京都中央区日本橋一丁目13番 1 号ティー
ディーケイ株式会社内

(74)代理人 100074930

弁理士 山本 恵一

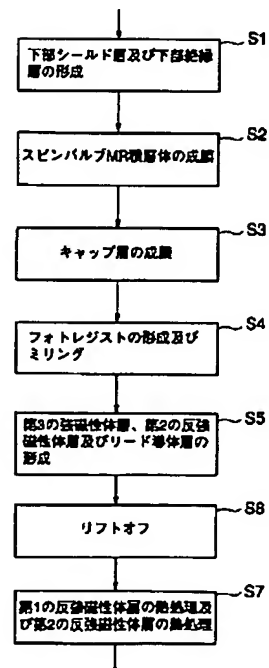
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 磁気抵抗効果センサ及び該センサの製造方法

(57)【要約】

【課題】 フリー層と縦バイアス磁界用の強磁性体層及び反強磁性体層との間で良好な交換結合を発生させることができるMRセンサ及び該MRセンサの製造方法を提供する。

【解決手段】 第1の反強磁性体層、第1の反強磁性体層との交換結合によりバイアス磁界が印加される第1の強磁性体層（ピン層）、及び第1の強磁性体層上に非磁性体層を介して積層され、印可される信号磁界に応答して磁化方向が変化する第2の強磁性体層（フリー層）を有するMR積層体を形成するステップと、形成したMR積層体上に保護層を積層するステップと、保護層の少なくとも一部を除去すると共にフリー層の両端部を所定深さまで除去するステップと、フリー層の少なくとも両端部上にこのフリー層の磁区を制御するための交換結合用の第2の反強磁性体層を形成するステップとを備えており、上述の除去するステップを、第1の反強磁性体層の磁化方向制御用の熱処理前に行う。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の反強磁性体層、該第1の反強磁性体層との交換結合によりバイアス磁界が印加される第1の強磁性体層、及び該第1の強磁性体層上に非磁性体層を介して積層され、印可される信号磁界に応答して磁化方向が変化する第2の強磁性体層を有する磁気抵抗効果積層体を形成するステップと、該形成した磁気抵抗効果積層体上に保護層を積層するステップと、該保護層の少なくとも一部を除去すると共に前記第2の強磁性体層の両端部を所定深さまで除去するステップと、該第2の強磁性体層の少なくとも該両端部に当該第2の強磁性体層の磁区を制御するための交換結合用の第2の反強磁性体層を形成するステップとを備えており、前記除去するステップを、前記第1の反強磁性体層の磁化方向制御用の熱処理前に行うことを特徴とする磁気抵抗効果センサの製造方法。

【請求項2】 前記除去するステップが、前記第2の強磁性体層中に拡散した前記保護層材料の元素により交換結合が阻害されない深さまで当該第2の強磁性体層を除去するものであることを特徴とする請求項1に記載の製造方法。

【請求項3】 前記保護層を、単層膜で形成することを特徴とする請求項1又は2に記載の製造方法。

【請求項4】 前記保護層を、Cu、Al、Rh、Ru、Pt、RuRhMn、PtMn、PtMnRh及びTiWから選ばれた1つの単層膜で形成することを特徴とする請求項3に記載の製造方法。

【請求項5】 前記保護層を、多層膜で形成することを特徴とする請求項1又は2に記載の製造方法。

【請求項6】 前記保護層を、Ta/PtMn、Ta/Cu、Ta/Al、Ta/Ru、TiW/Cu、TiW/Rh及びTiW/Ruから選ばれた1つの2層膜で形成することを特徴とする請求項5に記載の製造方法。

【請求項7】 前記磁気抵抗効果積層体が、スピンバルブ磁気抵抗効果積層体であることを特徴とする請求項1から6のいずれか1項に記載の製造方法。

【請求項8】 前記磁気抵抗効果積層体が、スピントネル磁気抵抗効果積層体であることを特徴とする請求項1から6のいずれか1項に記載の製造方法。

【請求項9】 第1の反強磁性体層、該第1の反強磁性体層との交換結合によりバイアス磁界が印加される第1の強磁性体層、及び該第1の強磁性体層上に非磁性体層を介して積層されており、印可される信号磁界に応答して磁化方向が変化する第2の強磁性体層を有する磁気抵抗効果積層体と、該磁気抵抗効果積層体の前記第2の強磁性体層の両端部に積層されており、当該第2の強磁性体層の磁区を制御するための交換結合用の第2の反強磁性体層と、前記磁気抵抗効果積層体上に積層された保護層とを備えており、前記保護層が、Cu、Al、Rh、Ru、Pt、RuRhMn、PtMn、PtMnRh及びTiWから選ばれた1つの単層膜で形成されていることを特徴とする磁気抵抗効果センサ。

h及びTiWから選ばれた1つの単層膜で形成されていることを特徴とする磁気抵抗効果センサ。

【請求項10】 第1の反強磁性体層、該第1の反強磁性体層との交換結合によりバイアス磁界が印加される第1の強磁性体層、及び該第1の強磁性体層上に非磁性体層を介して積層されており、印可される信号磁界に応答して磁化方向が変化する第2の強磁性体層を有する磁気抵抗効果積層体と、該磁気抵抗効果積層体の前記第2の強磁性体層の両端部に積層されており、当該第2の強磁性体層の磁区を制御するための交換結合用の第2の反強磁性体層と、前記磁気抵抗効果積層体上に積層された保護層とを備えており、前記保護層が、Ta/PtMn、Ta/Cu、Ta/Al、Ta/Ru、TiW/Cu、TiW/Rh及びTiW/Ruから選ばれた1つの2層膜で形成されていることを特徴とする磁気抵抗効果センサ。

【請求項11】 前記磁気抵抗効果積層体が、スピンバルブ磁気抵抗効果積層体であることを特徴とする請求項9又は10に記載のセンサ。

【請求項12】 前記磁気抵抗効果積層体が、スピントネル磁気抵抗効果積層体であることを特徴とする請求項9又は10に記載のセンサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、スピンバルブ効果等の巨大磁気抵抗効果（GMR）又はスピントネル磁気抵抗効果（TMR）を利用した磁気抵抗効果（MR）センサ及びこのMRセンサの製造方法に関する。この種のMRセンサは、種々の磁気検出に用いられるが、その代表的な例として、例えばハードディスク装置（HDD）等の磁気記録再生装置用の磁気ヘッドに用いられる。

【0002】

【従来の技術】近年、HDDの高密度化に伴って高感度及び高出力の磁気ヘッドが要求されており、このような要求に答えるものとして、GMRを呈するセンサの1つであるスピンバルブを利用したMRセンサを備えた薄膜磁気ヘッドが提案されている（特公平8-21166号公報、特開平6-236527号公報）。

【0003】スピンバルブは、2つの強磁性体層を非磁性金属層で磁気的に分離してサンドイッチ構造とし、その一方の強磁性体層に反強磁性体層を積層することによってその界面で生じる交換バイアス磁界をこの一方の強磁性体層（ピン（pinned）層）に印加するようにしたものである。交換バイアス磁界を受けるピン層と受けない他方の強磁性体層（フリー（free）層）とでは磁化反転する磁界が異なるので、非磁性金属層を挟むこれら2つの強磁性体層の磁化の向きが平行、反平行と変化し、これにより電気抵抗率が大きく変化するのでGMRが得られる。

【0004】スピンバルブMRセンサの出力特性等は、非磁性金属層を挟むこれら2つの強磁性体層（ピンド層及びフリー層）の磁化のなす角度によって定まる。フリー層の磁化方向は磁気記録媒体からの漏洩磁界の方向に容易に向く。一方、ピンド層の磁化方向は反強磁性体層との交換結合により一方向（ピンニングされる方向、ピンド方向）に制御される。

【0005】スピンバルブMRセンサ動作時において、フリー層は、磁壁の移動がない状態で磁化変化する必要がある。これは、磁壁移動を伴う磁化変化は、磁壁移動を伴わない磁化変化に比べて応答が遅く、不可逆であることからバルクハウゼンノイズと呼ばれるノイズ成分となってしまうからである。このため、ハードマグネットによってフリー層にバイアス磁界（縦バイアス磁界）を印加し、磁壁移動を抑制することが一般的に行われている。

【0006】しかしながら、センサを高温状態で使用すると、フリー層への縦バイアス磁界の影響でピンド方向の変動や、フリー層自身の磁気特性の変動が発生し、その結果、出力の劣化が発生するという問題がある。このため、縦バイアス磁界は、磁区制御に要する必要最小限の値に抑える必要がある。

【0007】そこで、フリー層と、新たな強磁性体層を介した反強磁性体層による縦バイアス磁界により磁区構造を安定化し、センサ動作時における磁壁移動を抑制する方法が提案されている（特開平8-45032号公報）。反強磁性体層によって縦バイアス磁界を発生させるこの方法によれば、フリー層の端部のみにバイアス磁界を印加することが可能なので、ハードマグネットバイアス方式に較べて積層体全体に印加される磁界が小さくなる。その結果、センサの高温状態での使用時における出力劣化が小さくなる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】縦バイアス磁界印加用の第2の反強磁性体層を有するこの種のスピンバルブMRセンサにおいては、特に、基板上に第1の反強磁性体層、ピンド層、非磁性金属層及びフリー層をこの順序で積層してスピンバルブ積層体を形成し、さらにその上に、保護層を積層した後、フリー層の両端部を露出させてその上に強磁性体層を介して縦バイアス磁界印加用の第2の反強磁性体層を設けたスピンバルブMRセンサにおいては、フリー層の両端部をミリング等により露出させるべくミリングする際に、保護層を構成する材料の元素がフリー層中に拡散してしまい、縦バイアス磁界のための交換結合がその界面で阻害される恐れがある。

【0009】縦バイアス磁界のための交換結合を良好にするために、MR素子の表面をクリーニングする技術は公知である。例えば、特開平7-210834号公報、特開平7-244821号公報には、MR素子を所定の形状にパターンニングした後、縦バイアス磁界用の反強磁

性体層を形成する際に、磁気的な結合を取るためにMR素子の表面に生じる酸化皮膜を除去することが開示されている。

【0010】しかしながら、これら技術のいずれも、スピンバルブMRセンサ等のGMRセンサに関するものではなく、また、フリー層中への他の層の元素の拡散による障害を解決するものではない。しかも、表面のクリーニングを製造工程中のどの時点で行うかの明確な開示も無い。

【0011】本発明の目的は、フリー層と縦バイアス磁界用の強磁性体層及び反強磁性体層との間で良好な交換結合を発生させることができるMRセンサ及び該MRセンサの製造方法を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、第1の反強磁性体層、第1の反強磁性体層との交換結合によりバイアス磁界が印加される第1の強磁性体層（ピンド層）、及び第1の強磁性体層上に非磁性体層を介して積層され、印可される信号磁界に応答して磁化方向が変化する第2の強磁性体層（フリー層）を有するMR積層体を形成するステップと、形成したMR積層体上に保護層を積層するステップと、保護層の少なくとも一部を除去すると共にフリー層の両端部を所定深さまで除去するステップと、フリー層の少なくとも両端部にこのフリー層の磁区を制御するための交換結合用の第2の反強磁性体層を形成するステップとを備えており、上述の除去するステップを、第1の反強磁性体層の磁化方向制御用の熱処理前に行うMRセンサの製造方法が提供される。

【0013】フリー層の磁区を制御する縦バイアスを発生させるための交換結合用の第2の反強磁性体層を形成する際に、フリー層の両端部を所定深さまで除去するようにしており、しかも、その除去する工程をMR積層体の第1の反強磁性体層の磁化方向制御用の熱処理前に行っている。フリー層の両端部を所定深さまで除去することにより、保護層を除去する際に生じたその保護層の成分元素がフリー層内に拡散した部分を確実に除去でき、フリー層と縦バイアス磁界用の第2の反強磁性体層との間に良好な交換結合を与えることができる。

【0014】また、除去するステップを、第1の反強磁性体層の磁化方向制御用の熱処理前に行うことにより、熱処理による拡散の進行を抑制できるから保護層の成分元素がフリー層内に拡散する度合を最小限に抑えることができ、フリー層をさほど深くまで除去しないで良いこととなる。これは、フリー層の膜厚が今後ますます薄くなることとあいまって、製造工程を著しく容易にする。従って、フリー層と縦バイアス磁界用の反強磁性体層との間に良好な交換結合を容易にかつ確実に与えることができる。

【0015】なお、フリー層を所定深さまで除去する場合の所定深さとは、フリー層中に拡散した保護層材料の

元素により交換結合が阻害されない程度となる深さであることが好ましい。

【0016】保護層を、単層膜で形成することも好ましい。この場合、保護層を、Cu、Al、Rh、Ru、Pt、RuRhMn、PtMn、PtMnRh及びTiWから選ばれた1つの単層膜で形成することがより好ましい。

【0017】保護層を、このような材料の単層膜で構成すると、従来のごとくTaの単層膜で構成していた場合に比して、イオンミリングによって保護層の成分元素がフリー層内に拡散する度合を著しく小さくできるので、フリー層をさほど深くまでミリング除去しないで良いこととつながり、ミリング後のフリー層の厚みが大きく取れることを意味している。従って、フリー層の膜厚が今後ますます薄くなっても、製造工程が非常に容易となる。その結果、フリー層と縦バイアス磁界用の第2の反強磁性体層との間に良好な交換結合を容易にかつ確実に与えることができる。

【0018】保護層を、多層膜で形成することも好ましい。この場合、保護層を、Ta/PtMn、Ta/Cu、Ta/Al、Ta/Ru、TiW/Cu、TiW/Rh及びTiW/Ruから選ばれた1つの2層膜で形成することがより好ましい。

【0019】保護層を、このような材料の2層膜で構成すると、従来のごとくTaの単層膜で構成していた場合に比して、イオンミリングによって保護層の成分元素がフリー層内に拡散する度合を著しく小さくできるので、フリー層をさほど深くまでミリング除去しないで良いこととつながり、ミリング後のフリー層の厚みが大きく取れることを意味している。従って、フリー層の膜厚が今後ますます薄くなっても、製造工程が非常に容易となる。その結果、フリー層と縦バイアス磁界用の第2の反強磁性体層との間に良好な交換結合を容易にかつ確実に与えることができる。

【0020】MR積層体が、スピンバルブMR積層体又はスピントンネルMR積層体であることが好ましい。

【0021】本発明によれば、さらに、第1の反強磁性体層、第1の反強磁性体層との交換結合によりバイアス磁界が印加される第1の強磁性体層（ビンド層）、及び第1の強磁性体層上に非磁性体層を介して積層されており、印可される信号磁界に応答して磁化方向が変化する第2の強磁性体層（フリー層）を有するMR積層体と、MR積層体のフリー層の両端部上に積層されており、このフリー層の磁区を制御するための交換結合用の第2の反強磁性体層と、MR積層体上に積層された保護層とを備えており、保護層が、Cu、Al、Rh、Ru、Pt、RuRhMn、PtMn、PtMnRh及びTiWから選ばれた1つの単層膜で形成されているか、又はTa/PtMn、Ta/Cu、Ta/Al、Ta/Ru、TiW/Cu、TiW/Rh及びTiW/Ruから選

れた1つの2層膜で形成されているMRセンサが提供される。

【0022】保護層を、このような材料の単層膜又は2層膜で構成すると、従来のごとくTaの単層膜で構成していた場合に比して、イオンミリングによって保護層の成分元素がフリー層内に拡散する度合を著しく小さくできるので、フリー層をさほど深くまでミリング除去しないで良いこととつながり、ミリング後のフリー層の厚みが大きく取れることを意味している。従って、フリー層の膜厚が今後ますます薄くなっても、製造工程が非常に容易となる。その結果、フリー層と縦バイアス磁界用の第2の反強磁性体層との間に良好な交換結合を容易にかつ確実に与えることができる。

【0023】MR積層体が、スピンバルブMR積層体、又はスピントンネルMR積層体であることが好ましい。

【0024】

【発明の実施の形態】図1は本発明の一実施形態として、薄膜磁気ヘッドのスピンバルブMRセンサ部分の層構成を概略的に示す断面図であり、磁気ヘッドの浮上面（ABS）方向から見た断面を表している。

【0025】同図において、10は図示しない基板上に下地膜を介して形成されている下部シールド層、11はその上に積層されている下部絶縁層、12は下部絶縁層11上に積層されているスピンバルブMR積層体をそれぞれ示している。

【0026】スピンバルブMR積層体12は、下方から第1の反強磁性体層120と、第1の反強磁性体層との交換結合によりバイアス磁界が印加される第1の強磁性体層（ビンド層）121と、ビンド層121上に積層された非磁性金属層122と、非磁性金属層122上に積層されており、印可される信号磁界に応答して磁化方向が変化する第2の強磁性体層（フリー層）123とから構成されている。

【0027】同図において、さらに、13及び14はスピンバルブMR積層体12のフリー層123のトラック幅方向の両端部123aの表面に密着積層されており、このフリー層123の磁区を制御するための第3の強磁性体層及び交換結合用の第2の反強磁性体層、15は第2の反強磁性体層14上に積層されたリード導体層、16はスピンバルブMR積層体12上に積層された保護層（キャップ層）をそれぞれ示している。

【0028】本実施形態においては、下地膜としてTa（5nm）、第1の反強磁性体層120としてPtMn（20nm）、ビンド層121としてCo（2nm）、非磁性金属層122としてCu（2.5nm）、フリー層123としてCo（1nm）及びNiFe（8nm）、第3の強磁性体層13としてNiFe（25nm）、及び第2の反強磁性体層14としてRuRhMn（10nm）が使用されている。さらに、キャップ層16としては、Cu、Al、Rh、Ru、Pt、RuRh

Mn、PtMn、PtMnRh及びTiWから選ばれた1つの材料による単層膜(5nm)、又はTa/PtMn、Ta/Cu、Ta/Al、Ta/Ru、TiW/Cu、TiW/Rh及びTiW/Ruから選ばれた1つの2層膜(2.5nm/2.5nm)等が用いられる。なお、本明細書において、元素間の「/」なる表示は、両元素が上下に積層されていることを表している。例えば「Ta/PtMn」なる記載は、Ta層とPtMn層とがTa層が上になるように積層されていることを表している。従って、上述の全ての2層膜において、Ta又はTiWが上側の層(フリー層に接触しない側の層)となっている。

【0029】反強磁性体材料として、Pt47~52at%、Mn48~53at%なる組成(最も好ましくはPt48at%、Mn52at%なる組成)のPtMn、Pt33~52at%、Mn45~57at%、Rh0~17at%なる組成(最も好ましくはPt40at%、Mn51at%、Rh9at%なる組成)のPtMnRh、又はRu0~20at%、Rh0~20at%、Mn75~85at%なる組成(最も好ましくはRu3at%、Rh15at%、Mn82at%なる組成)のRuRhMnを用いることにより、この材料によるターゲットを第1の反強磁性体層120及び第2の反強磁性体層14の両方の共用することができる。これらの組成は、種々の文献や特許公報等により既に公知である「厚膜領域」で強磁性体と大きな交換結合が得られる組成領域である。

【0030】図2は図1の実施形態におけるスピバルブMRセンサの製造工程を説明するフローチャートであり、図3はその各製造工程における層構成を示す断面図である。

【0031】図2のステップS1及び図3の(A)に示すように、図示しない基板上に下地膜を介して下部シールド層10及び下部絶縁層11を形成する。

【0032】次いで、図2のステップS2及び図3の(B)に示すように、下部絶縁層11上に、第1の反強磁性体層120、ビンド層121、非磁性金属層122及びフリー層123からなるスピバルブMR積層体12を成膜する。

【0033】その後、図2のステップS3及び図3の(C)に示すように、スピバルブMR積層体12上にキャップ層16を成膜する。

【0034】従来はこの時点で第1の反強磁性体層120の規則化熱処理を行っていたが、本発明では、この熱処理を行うことなく、図2のステップS4及び図3の(D)に示すように、フリー層123の両端部123aに対応する部分が開口しているフォトレジストパターン17を形成した後、イオンミリング等のドライエッチングを行ってキャップ層16の両端部を全て除去すると共にフリー層123の両端部123aを所定の深さまで除

去する。この場合の所定深さとは、イオンミリングによりフリー層123中に拡散した保護層16の材料の元素が交換結合を阻害しない程度となる深さである。

【0035】次いで、図2のステップS5及び図3の(E)に示すように、フリー層123の両端部123aの所定深さまでミリングされて露出している表面に密着するように、第3の強磁性体層13、第2の反強磁性体層14及びリード導体層15をそれぞれ積層形成する。

【0036】次いで、図2のステップS6及び図3の(F)に示すように、リフトオフ処理を行って、フォトレジストパターン17と、その上に積層されている第3の強磁性体層13、第2の反強磁性体層14及びリード導体層15とを除去する。

【0037】その後、図2のステップS7に示すように、スピバルブMR積層体12の第1の反強磁性体層120の規則化熱処理を行うと共に、第2の反強磁性体層14の規則化熱処理を行う。

【0038】このように、本実施形態によれば、フリー層123の磁区を制御する縦バイアスを発生するための交換結合用の第2の反強磁性体層14を形成する前に、フリー層123の両端部を所定深さまで除去している。その結果、保護層16を除去する際に生じたその保護層16の成分元素の拡散した部分を確実に除去でき、フリー層123と縦バイアス磁界用の第3の強磁性体層13及び第2の反強磁性体層14との間に良好な交換結合を与えることができる。

【0039】しかも、その除去する工程をスピバルブMR積層体12の第1の反強磁性体層120の磁化方向制御用の規則化熱処理を行う前に行っているため、熱処理による拡散の進行を抑制できるから保護層16の成分元素がフリー層123内に拡散する度合を最小限に抑えることができる。これは、フリー層123をさほど深くまでミリング除去しないで良いこととつながり、ミリング後のフリー層123の厚みが大きく取れることを意味している。その結果、フリー層123の膜厚が今後ますます薄くなっても、製造工程が非常に容易となる。従って、フリー層123と縦バイアス磁界用の第3の強磁性体層13及び第2の反強磁性体層14との間に良好な交換結合を容易にかつ確実に与えることができる。

【0040】さらに、キャップ層16の材料として、Cu、Al、Rh、Ru、Pt、RuRhMn、PtMn、PtMnRh及びTiWから選ばれた1つの材料による単層膜、又はTa/PtMn、Ta/Cu、Ta/Al、Ta/Ru、TiW/Cu、TiW/Rh及びTiW/Ruから選ばれた1つの2層膜を用いることにより、イオンミリングによってその成分元素がフリー層123内に拡散する度合を著しく小さくできるので、フリー層123をさほど深くまでミリング除去しないで良いこととつながり、ミリング後のフリー層123の厚みが大きく取れることを意味している。従って、フリー層

123の膜厚が今後ますます薄くなっても、製造工程が非常に容易となる。その結果、フリー層123と縦バイアス磁界用の第3の強磁性体層13及び第2の反強磁性体層14との間に良好な交換結合を容易にかつ確実に与えることができる。

【0041】

【実施例】以下、キャップ層16の材料の異なる種々のスピンバルブMRセンサについて、フリー層123のミリング深さを変えた場合のサンプルを作成し、交換結合*

*による縦バイアス磁界を測定した結果を説明する。

【0042】本実施形態のように縦バイアス磁界印加用の第2の反強磁性体層を有するこの種のスピンバルブMRセンサにおいて、交換結合による縦バイアス磁界の大きさとバルクハウゼンノイズの発生率（バルクハウゼンノイズの発生数／測定数）との関係を実際に調べると、表1のごとくなる。

【0043】

【表1】

交換結合バイアス磁界 (Oe)	バルクハウゼンノイズ発生率
0	78/100
10	26/100
20	17/100
30	5/100
40	4/100
50	4/100

【0044】交換結合バイアス磁界の大きさは、図4に示すように、ウエハ内にあるトラック幅6 μ m×MRハイト6 μ mのサイズのスピンバルブMR積層体テストピース40に対して、スポット径3 μ mのレーザー光41を照射し、カー効果をMH-LOOP測定により評価することで求めた。スピンバルブMR積層体40の層構成は、Ta(5nm)/NiFe(8nm)/Co(1nm)/Cu(2.5nm)/Co(2nm)/PtMn(20nm)/Ta(5nm)であり、縦バイアス磁界発生部42の層構成は、NiFe(25nm)/RuRhMn(10nm)である。因みに、実素子の場合のサイズはこれとは異なり、トラック幅1.0 μ m、MRハイト1.2 μ mである。

【0045】このテストパターンの交換結合バイアス磁界が、300e以上を示したウエハから抽出したサンプルのバルクハウゼンノイズ発生率は、5%以下であり、それ以上にバイアス磁界を強くしてもバルクハウゼンノイズ発生率は変化しなかった。従って、テストパターンのバイアス磁界が300e以上になるようなミリング条件が必要となることが分かる。

【0046】以下の実施例において各サンプルは、スピンバルブMR積層体の層構成として、キャップ層(5nm※
成膜直後にイオンミリング

※m)/NiFe(8nm)/Co(1nm)/Cu(2.5nm)/Co(2nm)/PtMn(20nm)/Ta(5nm)であり、縦バイアス磁界発生部の層構成は、第3の強磁性体層13としてNiFe(25nm)、第2の反強磁性体層としてRuRhMn(10nm)の構成である。

【0047】実施例1

キャップ層として従来技術であるTa(5nm)の単層膜を用いた場合である。表2～表4は、フリー層であるNiFe層のミリング深さ（フリー層表面からの）と、テストピース中央部分でのバイアス磁界の大きさとの関係を示しており、表2は成膜直後にイオンミリングを行った場合、表3は250℃～5時間の熱処理を行った後にイオンミリングを行った場合、表4は300℃～5時間の熱処理後にイオンミリングを行った場合について示している。特に、表2及び表4には、オージェ分光により求めたミリングされた表面におけるNiFeに対するTaの組成比（オージェ強度）がNiFe層のミリング深さに対応して示されている。

【0048】

【表2】

フリー層ミリング深さ (nm)	オージェ強度比 (%)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	42	0
1	24	0
2	16	12
3	10	23
4	5	30
5	2	32
6	0	34
7	0	35

【0049】

★ ★【表3】

11

12

成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	0
2	0
3	0
4	7
5	12
6	34
7	36

【0050】

10【表4】

成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	オージェ強度比 (%)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	77	0
1	64	0
2	58	0
3	34	0
4	20	0
5	14	13
6	10	26
7	8	34

【0051】成膜直後にイオンミリングを行った場合、フリー層を4nm以上エッチングして初めて縦バイアス磁界が300e以下となる。縦バイアス磁界が300e以下となることは、前述したようにバルクハウゼンノイズ発生率が5%以下となることであるから、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とし、オージェ強度比を10%以下とするには、フリー層を4nm以上エッチングする必要があることが分かる。

【0052】成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を6nm以上エッチングする必要があり、さらに、成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とし、オージェ強度比を10%以下とするには、フリー層を7nm以上エッチングする必要があることが分かる。

【0053】表2及び表4のオージェ強度比を比較すれば明らかなように、フリー層のイオンミリングを熱処理後に行うと、拡散が進んでしまうのでミリング深さを大きく取らなければ充分な縦バイアス磁界を得ることがで

※きず、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とすることができない。ただし、本実施例のように、キャップ層として従来技術であるTaの単層膜を用いると、成膜直後にイオンミリングした場合にも、必要となるミリング深さは比較的大きくなる。

【0054】実施例2

キャップ層としてCu(5nm)の単層膜を用いた場合である。表5～表7は、フリー層であるNiFe層のミリング深さ(フリー層表面からの)と、テストピース中央部分でのバイアス磁界の大きさとの関係を示しており、表5は成膜直後にイオンミリングを行った場合、表6は250℃-5時間の熱処理を行った後にイオンミリングを行った場合、表7は300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングを行った場合について示している。表5及び表7にも、オージェ分光により求めたミリングされた表面におけるNiFeに対するCuの組成比(オージェ強度)がNiFe層のミリング深さに対応して示されている。

【0055】

【表5】

成膜直後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	オージェ強度比 (%)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	28	3
1	19	8
2	13	23
3	10	35
4	7	34
5	2	35
6	0	36
7	0	35

【0056】

* * 【表6】

成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	3
2	17
3	26
4	35
5	34
6	35
7	36

【0057】

※ ※ 【表7】

成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	オージェ強度比 (%)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	48	0
1	31	4
2	20	18
3	16	25
4	14	29
5	10	35
6	6	34
7	2	35

【0058】成膜直後にイオンミリングを行った場合、フリー層を3nm以上エッチングすれば縦バイアス磁界が300e以下となる。縦バイアス磁界が300e以下となることは、前述したようにバルクハウゼンノイズ発生率が5%以下となることであるから、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とし、オージェ強度比を10%以下とするには、フリー層を3nm以上エッチングすればよいことが分かる。

【0059】成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を4nm以上エッチングする必要があり、さらに、成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とし、オージェ強度比を10%以下とするには、フリー層を5nm以上エッチングする必要があることが分かる。

【0060】キャップ層としてCuの単層膜を用いれば、実施例1のごとくTaの単層膜を用いた従来技術に比して、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とし、オージェ強度比を10%以下とするために必要となるミリング深さがより小さくなる。

★【0061】また、表5及び表7のオージェ強度比を比較すれば明らかなように、フリー層のイオンミリングを熱処理後に行うと、拡散が進んでしまうのでミリング深さを大きく取らなければ充分な縦バイアス磁界を得ることができず、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とすることができないが、成膜直後に行えば必要となるミリング深さは比較的小さい。

【0062】実施例3

30 キャップ層としてAl (5nm) の単層膜を用いた場合である。表8～表10は、フリー層であるNiFe層のミリング深さ (フリー層表面からの) と、テストピース中央部分でのバイアス磁界の大きさとの関係を示しており、表8は成膜直後にイオンミリングを行った場合、表9は250℃-5時間の熱処理を行った後にイオンミリングを行った場合、表10は300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングを行った場合について示している。なお、オージェ強度比は、前述の実施例1及び2の場合とほぼ類似の傾向を示すため、これらの表には記載されていない。

【0063】

★ 【表8】

成膜直後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	3
1	8
2	22
3	33
4	34
5	34
6	36
7	36

【0064】

10【表9】

成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	3
2	17
3	25
4	32
5	34
6	35
7	36

【0065】

※20※【表10】

成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	4
2	18
3	24
4	27
5	32
6	34
7	35

【0066】成膜直後にイオンミリングを行った場合、フリー層を3nm以上エッチングすれば縦バイアス磁界が300e以下となる。縦バイアス磁界が300e以下となることは、前述したようにバルクハウゼンノイズ発生率が5%以下となることであるから、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を3nm以上エッチングすればよいことが分かる。

【0067】成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を4nm以上エッチングする必要があり、さらに、成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を5nm以上エッチングする必要があることが分かる。

【0068】キャップ層としてAlの単層膜を用いれば、実施例1のごとくTaの単層膜を用いた従来技術に比して、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするために必要となるミリング深さがより小さくなる。

【0069】また、フリー層のイオンミリングを熱処理★

30★後に行うと、拡散が進んでしまうのでミリング深さを大きく取らなければ充分な縦バイアス磁界を得ることができず、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とすることができないが、成膜直後に行えば必要となるミリング深さは比較的小さい。

【0070】実施例4

キャップ層としてRh(5nm)の単層膜を用いた場合である。表11～表13は、フリー層であるNiFe層のミリング深さ(フリー層表面からの)と、テストピース中央部分でのバイアス磁界の大きさとの関係を示しており、表11は成膜直後にイオンミリングを行った場合、表12は250℃-5時間の熱処理を行った後にイオンミリングを行った場合、表13は300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングを行った場合について示している。なお、オージェ強度比は、前述の実施例1及び2の場合とほぼ類似の傾向を示すため、これらの表には記載されていない。

【0071】

【表11】

成膜直後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	8
2	12
3	32
4	35
5	34
6	34
7	36

【0072】

10【表12】

成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	0
2	7
3	13
4	25
5	32
6	34
7	35

【0073】

※20※【表13】

成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	0
2	3
3	8
4	17
5	28
6	34
7	35

【0074】成膜直後にイオンミリングを行った場合、フリー層を3nm以上エッチングすれば縦バイアス磁界が300e以下となる。縦バイアス磁界が300e以下となることは、前述したようにバルクハウゼンノイズ発生率が5%以下となることであるから、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を3nm以上エッチングすればよいことが分かる。

【0075】成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を5nm以上エッチングする必要があり、さらに、成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を6nm以上エッチングする必要があることが分かる。

【0076】キャップ層としてRhの単層膜を用いれば、実施例1のごとくTaの単層膜を用いた従来技術に比して、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするために必要となるミリング深さがより小さくなる。

【0077】また、フリー層のイオンミリングを熱処理★

30★後に行うと、拡散が進んでしまうのでミリング深さを大きく取らなければ充分な縦バイアス磁界を得ることができず、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とすることができないが、成膜直後に行えば必要となるミリング深さは比較的小さい。

【0078】実施例5

キャップ層としてRu(5nm)の単層膜を用いた場合である。表14～表16は、フリー層であるNiFe層のミリング深さ(フリー層表面からの)と、テストピース中央部分でのバイアス磁界の大きさとの関係を示しており、表14は成膜直後にイオンミリングを行った場合、表15は250℃-5時間の熱処理を行った後にイオンミリングを行った場合、表16は300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングを行った場合について示している。なお、オージェ強度比は、前述の実施例1及び2の場合とはほぼ類似の傾向を示すため、これらの表には記載されていない。

【0079】

【表14】

成膜直後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	3
1	9
2	22
3	32
4	34
5	34
6	36
7	35

【0080】

10【表15】

成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	3
2	17
3	25
4	31
5	32
6	34
7	35

【0081】

※20※【表16】

成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	4
2	18
3	23
4	26
5	32
6	33
7	35

【0082】成膜直後にイオンミリングを行った場合、フリー層を3nm以上エッチングすれば縦バイアス磁界が300e以下となる。縦バイアス磁界が300e以下となることは、前述したようにバルクハウゼンノイズ発生率が5%以下となることであるから、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を3nm以上エッチングすればよいことが分かる。

【0083】成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を4nm以上エッチングする必要があり、さらに、成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を5nm以上エッチングする必要があることが分かる。

【0084】キャップ層としてRuの単層膜を用いれば、実施例1のごとくTaの単層膜を用いた従来技術に比して、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするために必要となるミリング深さがより小さくなる。

【0085】また、フリー層のイオンミリングを熱処理★

30★後に行うと、拡散が進んでしまうのでミリング深さを大きく取らなければ充分な縦バイアス磁界を得ることができず、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とすることができないが、成膜直後に行えば必要となるミリング深さは比較的小さい。

【0086】実施例6

キャップ層としてPt(5nm)の単層膜を用いた場合である。表17~表19は、フリー層であるNiFe層のミリング深さ(フリー層表面からの)と、テストピース中央部分でのバイアス磁界の大きさとの関係を示しており、表17は成膜直後にイオンミリングを行った場合、表18は250℃-5時間の熱処理を行った後にイオンミリングを行った場合、表19は300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングを行った場合について示している。なお、オージェ強度比は、前述の実施例1及び2の場合とはほぼ類似の傾向を示すため、これらの表には記載されていない。

【0087】

【表17】

成膜直後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	7
2	15
3	28
4	33
5	34
6	34
7	35

【0088】

10【表18】

成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	0
2	0
3	11
4	23
5	29
6	34
7	35

【0089】

※20※【表19】

成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	0
2	0
3	5
4	11
5	25
6	34
7	35

【0090】成膜直後にイオンミリングを行った場合、フリー層を4nm以上エッチングすれば縦バイアス磁界が300e以下となる。縦バイアス磁界が300e以下となることは、前述したようにバルクハウゼンノイズ発生率が5%以下となることであるから、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を4nm以上エッチングすればよいことが分かる。

【0091】成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を6nm以上エッチングする必要があり、さらに、成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を6nm以上エッチングする必要があることが分かる。

【0092】キャップ層としてRhの単層膜を用いれば、実施例1のごとくTaの単層膜を用いた従来技術に比して、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするために必要となるミリング深さがより小さくなる。

【0093】また、フリー層のイオンミリングを熱処理★

30★後に行うと、拡散が進んでしまうのでミリング深さを大きく取らなければ充分な縦バイアス磁界を得ることができず、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とすることができないが、成膜直後に行えば必要となるミリング深さは比較的小さい。

【0094】実施例7

キャップ層としてRuRhMn(5nm)の単層膜を用いた場合である。表20～表22は、フリー層であるNiFe層のミリング深さ(フリー層表面からの)と、テストピース中央部分でのバイアス磁界の大きさとの関係を示しており、表20は成膜直後にイオンミリングを行った場合、表21は250℃-5時間の熱処理を行った後にイオンミリングを行った場合、表22は300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングを行った場合について示している。なお、オージェ強度比は、前述の実施例1及び2の場合とはほぼ類似の傾向を示すため、これらの表には記載されていない。

【0095】

【表20】

成膜直後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	0
2	12
3	31
4	36
5	34
6	34
7	36

【0096】

10【表21】

成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	0
2	0
3	13
4	26
5	32
6	34
7	35

【0097】

※20※【表22】

成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	0
2	0
3	9
4	13
5	27
6	34
7	36

【0098】成膜直後にイオンミリングを行った場合、フリー層を3nm以上エッチングすれば縦バイアス磁界が300e以下となる。縦バイアス磁界が300e以下となることは、前述したようにバルクハウゼンノイズ発生率が5%以下となることであるから、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を3nm以上エッチングすればよいことが分かる。

【0099】成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を5nm以上エッチングする必要があり、さらに、成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を6nm以上エッチングする必要があることが分かる。

【0100】キャップ層としてRuRhMnの単層膜を用いれば、実施例1のごとくTaの単層膜を用いた従来技術に比して、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするために必要となるミリング深さがより小さくなる。

【0101】また、フリー層のイオンミリングを熱処理★

30★後に行うと、拡散が進んでしまうのでミリング深さを大きく取らなければ充分な縦バイアス磁界を得ることができず、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とすることができないが、成膜直後に行えば必要となるミリング深さは比較的小さい。

【0102】実施例8

キャップ層としてPtMn(5nm)の単層膜を用いた場合である。表23～表25は、フリー層であるNiFe層のミリング深さ(フリー層表面からの)と、テストピース中央部分でのバイアス磁界の大きさとの関係を示しており、表23は成膜直後にイオンミリングを行った場合、表24は250℃-5時間の熱処理を行った後にイオンミリングを行った場合、表25は300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングを行った場合について示している。なお、オージェ強度比は、前述の実施例1及び2の場合とほぼ類似の傾向を示すため、これらの表には記載されていない。

【0103】

【表23】

成膜直後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	15
2	30
3	32
4	35
5	34
6	34
7	35

【0104】

10【表24】

成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	0
2	17
3	31
4	33
5	33
6	34
7	35

【0105】

※20※【表25】

成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	0
2	2
3	13
4	30
5	32
6	34
7	35

【0106】成膜直後にイオンミリングを行った場合、フリー層を2nm以上エッチングすれば縦バイアス磁界が30Oe以下となる。縦バイアス磁界が30Oe以下となることは、前述したようにバルクハウゼンノイズ発生率が5%以下となることであるから、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を2nm以上エッチングすればよいことが分かる。

【0107】成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を3nm以上エッチングする必要があり、さらに、成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を4nm以上エッチングする必要があることが分かる。

【0108】キャップ層としてRuRhMnの単層膜を用いれば、実施例1のごとくTaの単層膜を用いた従来技術に比して、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするために必要となるミリング深さがより小さくなる。

【0109】また、フリー層のイオンミリングを熱処理★

30★後に行うと、拡散が進んでしまうのでミリング深さを大きく取らなければ充分な縦バイアス磁界を得ることができず、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とすることができないが、成膜直後に行えば必要となるミリング深さは比較的小さい。

【0110】実施例9

キャップ層としてPtMnRh(5nm)の単層膜を用いた場合である。表8～表10は、フリー層であるNiFe層のミリング深さ(フリー層表面からの)と、テストピース中央部分でのバイアス磁界の大きさとの関係を示しており、表26は成膜直後にイオンミリングを行った場合、表27は250℃-5時間の熱処理を行った後にイオンミリングを行った場合、表28は300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングを行った場合について示している。なお、オージェ強度比は、前述の実施例1及び2の場合とほぼ類似の傾向を示すため、これらの表には記載されていない。

【0111】

【表26】

成膜直後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	12
2	26
3	32
4	35
5	34
6	34
7	35

【0112】

10【表27】

成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	3
2	16
3	31
4	33
5	33
6	34
7	35

【0113】

※20※【表28】

成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	0
2	4
3	13
4	30
5	32
6	34
7	35

【0114】成膜直後にイオンミリングを行った場合、フリー層を3nm以上エッチングすれば縦バイアス磁界が300Oe以下となる。縦バイアス磁界が300Oe以下となることは、前述したようにバルクハウゼンノイズ発生率が5%以下となることであるから、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を3nm以上エッチングすればよいことが分かる。

【0115】成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を3nm以上エッチングする必要があり、さらに、成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を4nm以上エッチングする必要があることが分かる。

【0116】キャップ層としてPtMnRhの単層膜を用いれば、実施例1のごとくTaの単層膜を用いた従来技術に比して、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするために必要となるミリング深さがより小さくなる。

【0117】また、フリー層のイオンミリングを熱処理★

30★後に行うと、拡散が進んでしまうのでミリング深さを大きく取らなければ充分な縦バイアス磁界を得ることができず、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とすることができないが、成膜直後に行えば必要となるミリング深さは比較的小さい。

【0118】実施例10

キャップ層としてアモルファス組成のTi₁₀W₉₀ (Tiが10at%, Wが90at%) (5nm)の単層膜を用いた場合である。表29~表31は、フリー層であるNiFe層のミリング深さ(フリー層表面からの)と、テストピース中央部分でのバイアス磁界の大きさとの関係を示しており、表29は成膜直後にイオンミリングを行った場合、表30は250℃-5時間の熱処理を行った後にイオンミリングを行った場合、表31は300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングを行った場合について示している。なお、オージェ強度比は、前述の実施例1及び2の場合とほぼ類似の傾向を示すため、これらの表には記載されていない。

【0119】

【表29】

成膜直後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	18
2	27
3	34
4	35
5	34
6	36
7	35

【0120】

10【表30】

成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	0
2	15
3	24
4	33
5	35
6	34
7	35

【0121】

※20※【表31】

成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	0
2	12
3	21
4	31
5	34
6	35
7	34

【0122】成膜直後にイオンミリングを行った場合、フリー層を3nm以上エッチングすれば縦バイアス磁界が300e以下となる。縦バイアス磁界が300e以下となることは、前述したようにバルクハウゼンノイズ発生率が5%以下となることであるから、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を3nm以上エッチングすればよいことが分かる。

【0123】成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を4nm以上エッチングする必要があり、さらに、成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を4nm以上エッチングする必要があることが分かる。

【0124】キャップ層としてアモルファス組成のTi₁₀W₉₀の単層膜を用いれば、実施例1のごとくTaの単層膜を用いた従来技術に比して、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするために必要となるミリング深さがより小さくなる。

【0125】また、フリー層のイオンミリングを熱処理★

30★後に行うと、拡散が進んでしまうのでミリング深さを大きく取らなければ充分な縦バイアス磁界を得ることができず、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とすることができないが、成膜直後に行えば必要となるミリング深さは比較的小さい。

【0126】実施例11

キャップ層としてTa(2.5nm)/PtMn(2.5nm)の2層膜を用いた場合である(Ta層が上側)。表32~表34は、フリー層であるNiFe層のミリング深さ(フリー層表面からの)と、テストピース中央部分でのバイアス磁界の大きさととの関係を示しており、表32は成膜直後にイオンミリングを行った場合、表33は250℃-5時間の熱処理を行った後にイオンミリングを行った場合、表34は300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングを行った場合について示している。なお、オージェ強度比は、前述の実施例1及び2の場合とほぼ類似の傾向を示すため、これらの表には記載されていない。

【0127】

【表32】

成膜直後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	15
2	28
3	35
4	35
5	34
6	36
7	36

【0128】

10【表33】

成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	0
2	16
3	30
4	33
5	33
6	34
7	36

【0129】

※20※【表34】

成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	0
2	3
3	13
4	30
5	33
6	35
7	34

【0130】成膜直後にイオンミリングを行った場合、フリー層を3nm弱以上エッチングすれば縦バイアス磁界が300e以下となる。縦バイアス磁界が300e以下となることは、前述したようにバルクハウゼンノイズ発生率が5%以下となることであるから、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を3nm弱以上エッチングすればよいことが分かる。

【0131】成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を3nm以上エッチングする必要があり、さらに、成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を4nm以上エッチングする必要があることが分かる。

【0132】キャップ層としてTa/PtMnの2層膜を用いれば、実施例1のごとくTaの単層膜を用いた従来技術に比して、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするために必要となるミリング深さがより小さくなる。

【0133】また、フリー層のイオンミリングを熱処理★

30★後に行うと、拡散が進んでしまうのでミリング深さを大きく取らなければ充分な縦バイアス磁界を得ることができず、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とすることができないが、成膜直後に行えば必要となるミリング深さは比較的小さい。

【0134】実施例12

キャップ層としてTa(2.5nm)/Cu(2.5nm)の2層膜を用いた場合である(Ta層が上側)。表35~表37は、フリー層であるNiFe層のミリング深さ(フリー層表面からの)と、テストピース中央部分でのバイアス磁界の大きさとの関係を示しており、表35は成膜直後にイオンミリングを行った場合、表36は250℃-5時間の熱処理を行った後にイオンミリングを行った場合、表37は300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングを行った場合について示している。なお、オージェ強度比は、前述の実施例1及び2の場合とほぼ類似の傾向を示すため、これらの表には記載されていない。

【0135】

【表35】

成膜直後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	18
2	30
3	35
4	35
5	34
6	36
7	35

【0136】

10【表36】

成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	0
2	23
3	32
4	33
5	33
6	34
7	35

【0137】

※20※【表37】

成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	0
2	19
3	30
4	32
5	33
6	35
7	34

【0138】成膜直後にイオンミリングを行った場合、フリー層を2nm以上エッチングすれば縦バイアス磁界が30Oe以下となる。縦バイアス磁界が30Oe以下となることは、前述したようにバルクハウゼンノイズ発生率が5%以下となることであるから、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を2nm以上エッチングすればよいことが分かる。

【0139】成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を3nm以上エッチングする必要があり、さらに、成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を3nm以上エッチングする必要があることが分かる。

【0140】キャップ層としてTa/Cuの2層膜を用いれば、実施例1のごとくTaの単層膜を用いた従来技術に比して、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするために必要となるミリング深さがより小さくなる。

【0141】また、フリー層のイオンミリングを熱処理後に行うと、拡散が進んでしまうのでミリング深さを大★

30★きく取らなければ充分な縦バイアス磁界を得ることができず、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とすることができないが、成膜直後に行えば必要となるミリング深さは比較的小さい。

【0142】実施例13

キャップ層としてTa (2.5nm)/Al (2.5nm)の2層膜を用いた場合である (Ta層が上側)。表38~表40は、フリー層であるNiFe層のミリング深さ (フリー層表面からの) と、テストピース中央部分でのバイアス磁界の大きさとの関係を示しており、表38は成膜直後にイオンミリングを行った場合、表39は250℃-5時間の熱処理を行った後にイオンミリングを行った場合、表40は300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングを行った場合について示している。なお、オージェ強度比は、前述の実施例1及び2の場合とほぼ類似の傾向を示すため、これらの表には記載されていない。

【0143】

【表38】

成膜直後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	3
1	8
2	22
3	32
4	33
5	34
6	35
7	35

【0144】

10【表39】

成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	3
2	17
3	25
4	31
5	32
6	34
7	36

【0145】

※20※【表40】

成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	4
2	18
3	24
4	31
5	32
6	34
7	35

【0146】成膜直後にイオンミリングを行った場合、フリー層を3nm以上エッチングすれば縦バイアス磁界が300e以下となる。縦バイアス磁界が300e以下となることは、前述したようにバルクハウゼンノイズ発生率が5%以下となることであるから、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を3nm以上エッチングすればよいことが分かる。

【0147】成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を4nm以上エッチングする必要があり、さらに、成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を4nm以上エッチングする必要があることが分かる。

【0148】キャップ層としてTa/Alの2層膜を用いれば、実施例1のごとくTaの単層膜を用いた従来技術に比して、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするために必要となるミリング深さがより小さくなる。

【0149】また、フリー層のイオンミリングを熱処理後に行うと、拡散が進んでしまうのでミリング深さを大★

30★大きく取らなければ充分な縦バイアス磁界を得ることができず、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とすることができないが、成膜直後に行えば必要となるミリング深さは比較的小さい。

【0150】実施例14

キャップ層としてTa(2.5nm)/Ru(2.5nm)の2層膜を用いた場合である(Ta層が上側)。表41~表43は、フリー層であるNiFe層のミリング深さ(フリー層表面からの)と、テストピース中央部分でのバイアス磁界の大きさとの関係を示しており、表41は成膜直後にイオンミリングを行った場合、表42は250℃-5時間の熱処理を行った後にイオンミリングを行った場合、表43は300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングを行った場合について示している。なお、オージェ強度比は、前述の実施例1及び2の場合とほぼ類似の傾向を示すため、これらの表には記載されていない。

【0151】

【表41】

成膜直後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	18
2	30
3	35
4	35
5	34
6	36
7	35

【0152】

10【表42】

成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	0
2	21
3	32
4	35
5	34
6	34
7	35

【0153】

※20※【表43】

成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	0
2	17
3	28
4	35
5	34
6	35
7	34

【0154】成膜直後にイオンミリングを行った場合、フリー層を2nm以上エッチングすれば縦バイアス磁界が300Oe以下となる。縦バイアス磁界が300Oe以下となることは、前述したようにバルクハウゼンノイズ発生率が5%以下となることであるから、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を2nm以上エッチングすればよいことが分かる。

【0155】成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を3nm以上エッチングする必要があり、さらに、成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を4nm以上エッチングする必要があることが分かる。

【0156】キャップ層としてTa/Ruの2層膜を用いれば、実施例1のごとくTaの単層膜を用いた従来技術に比して、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするために必要となるミリング深さがより小さくなる。

【0157】また、フリー層のイオンミリングを熱処理後に行うと、拡散が進んでしまうのでミリング深さを大★

30★きく取らなければ充分な縦バイアス磁界を得ることができず、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とすることができないが、成膜直後に行えば必要となるミリング深さは比較的小さい。

【0158】実施例15

キャップ層としてTiW(2.5nm)/Cu(2.5nm)の2層膜を用いた場合である(TiW層が上側)。表44～表46は、フリー層であるNiFe層のミリング深さ(フリー層表面からの)と、テストピース中央部分でのバイアス磁界の大きさとの関係を示しており、表44は成膜直後にイオンミリングを行った場合、表45は250℃-5時間の熱処理を行った後にイオンミリングを行った場合、表46は300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングを行った場合について示している。なお、オージェ強度比は、前述の実施例1及び2の場合とほぼ類似の傾向を示すため、これらの表には記載されていない。

【0159】

【表44】

成膜直後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	17
2	30
3	34
4	36
5	36
6	34
7	35

【0160】

10【表45】

成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	0
2	24
3	31
4	33
5	34
6	34
7	35

【0161】

※20※【表46】

成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	0
2	18
3	30
4	33
5	34
6	35
7	34

【0162】成膜直後にイオンミリングを行った場合、フリー層を2nm以上エッチングすれば縦バイアス磁界が300e以下となる。縦バイアス磁界が300e以下となることは、前述したようにバルクハウゼンノイズ発生率が5%以下となることであるから、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を2nm以上エッチングすればよいことが分かる。

【0163】成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を3nm以上エッチングする必要があり、さらに、成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を3nm以上エッチングする必要があることが分かる。

【0164】キャップ層としてTiW/Cuの2層膜を用いれば、実施例1のごとくTaの単層膜を用いた従来技術に比して、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするために必要となるミリング深さがより小さくなる。

【0165】また、フリー層のイオンミリングを熱処理★

30★後に行うと、拡散が進んでしまうのでミリング深さを大きく取らなければ充分な縦バイアス磁界を得ることができず、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とすることができないが、成膜直後に行えば必要となるミリング深さは比較的小さい。

【0166】実施例16

キャップ層としてTiW(2.5nm)/Rh(2.5nm)の2層膜を用いた場合である(TiW層が上側)。表47~表49は、フリー層であるNiFe層のミリング深さ(フリー層表面からの)と、テストピース中央部分でのバイアス磁界の大きさとの関係を示しており、表47は成膜直後にイオンミリングを行った場合、表48は250℃-5時間の熱処理を行った後にイオンミリングを行った場合、表49は300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングを行った場合について示している。なお、オージェ強度比は、前述の実施例1及び2の場合とほぼ類似の傾向を示すため、これらの表には記載されていない。

【0167】

【表47】

成膜直後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	16
2	27
3	32
4	35
5	35
6	34
7	36

【0168】

10【表48】

成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	3
2	24
3	31
4	33
5	34
6	34
7	35

【0169】

※20※【表49】

成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	2
2	18
3	30
4	33
5	34
6	36
7	34

【0170】成膜直後にイオンミリングを行った場合、フリー層を3nm弱以上エッチングすれば縦バイアス磁界が300e以下となる。縦バイアス磁界が300e以下となることは、前述したようにバルクハウゼンノイズ発生率が5%以下となることであるから、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を3nm弱以上エッチングすればよいことが分かる。

【0171】成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を3nm以上エッチングすればよく、さらに、成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を3nm以上エッチングすればよいことが分かる。

【0172】キャップ層としてTiW/Rhの2層膜を用いれば、実施例1のごとくTaの単層膜を用いた従来技術に比して、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするために必要となるミリング深さがより小さくなる。

【0173】また、フリー層のイオンミリングを熱処理★

30★後に行うと、拡散が進んでしまうのでミリング深さを大きく取らなければ充分な縦バイアス磁界を得ることができず、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とすることができないが、成膜直後に行えば必要となるミリング深さは比較的小さい。

【0174】実施例17

キャップ層としてTiW(2.5nm)/Ru(2.5nm)の2層膜を用いた場合である(TiW層が上側)。表50～表52は、フリー層であるNiFe層のミリング深さ(フリー層表面からの)と、テストピース中央部分でのバイアス磁界の大きさとの関係を示しており、表50は成膜直後にイオンミリングを行った場合、表51は250℃-5時間の熱処理を行った後にイオンミリングを行った場合、表52は300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングを行った場合について示している。なお、オージェ強度比は、前述の実施例1及び2の場合とほぼ類似の傾向を示すため、これらの表には記載されていない。

【0175】

【表50】

成膜直後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	18
2	30
3	34
4	35
5	34
6	36
7	35

【0176】

10【表51】

成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	0
2	19
3	31
4	34
5	35
6	34
7	35

【0177】

※20※【表52】

成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリング

フリー層ミリング深さ (nm)	縦バイアス磁界 (Oe)
0	0
1	0
2	16
3	27
4	34
5	34
6	35
7	34

【0178】成膜直後にイオンミリングを行った場合、フリー層を2nm以上エッチングすれば縦バイアス磁界が300e以下となる。縦バイアス磁界が300e以下となることは、前述したようにバルクハウゼンノイズ発生率が5%以下となることであるから、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を2nm以上エッチングすればよいことが分かる。

【0179】成膜して250℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を3nm以上エッチングする必要があり、さらに、成膜して300℃-5時間の熱処理後にイオンミリングした場合、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を4nm以上エッチングする必要があることが分かる。

【0180】キャップ層としてTiW/Ruの2層膜を用いれば、実施例1のごとくTaの単層膜を用いた従来技術に比して、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするために必要となるミリング深さがより小さくなる。

【0181】また、フリー層のイオンミリングを熱処理後に行うと、拡散が進んでしまうのでミリング深さを大★50

30★大きく取らなければ充分な縦バイアス磁界を得ることができず、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とすることができないが、成膜直後に行えば必要となるミリング深さは比較的小さい。

【0182】なお、以上述べた実施形態及び実施例は、スピンバルブMRセンサに関するものであるが、本発明のMRセンサは、類似の構成を有するが、非磁性体層に膜厚の薄い絶縁体層を用いたトンネル効果を利用したスピントンネルMRセンサをも含むものである。

【0183】以上述べた実施形態は全て本発明を例示的に示すものであって限定的に示すものではなく、本発明は他の種々の変形態様及び変更態様で実施することができる。従って本発明の範囲は特許請求の範囲及びその均等範囲によってのみ規定されるものである。

【0184】

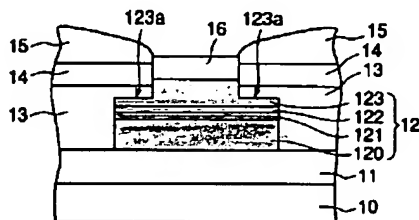
【発明の効果】以上詳細に説明したように本発明によれば、フリー層の磁区を制御する縦バイアスを発生するための交換結合用の第2の反強磁性体層を形成する際に、フリー層の両端部を所定深さまで除去するようにしており、しかも、その除去する工程をMR積層体の第1の反強磁性体層の磁化方向制御用の熱処理前に行っている。

フリー層の両端部を所定深さまで除去することにより、保護層を除去する際に生じたその保護層の成分元素がフリー層内に拡散した部分を確実に除去でき、フリー層と縦バイアス磁界用の第2の反強磁性体層との間に良好な交換結合を与えることができる。

【0185】また、除去するステップを、第1の反強磁性体層の磁化方向制御用の熱処理前に行うことにより、熱処理による拡散の進行を抑制できるから保護層の成分元素がフリー層内に拡散する度合を最小限に抑えることができ、フリー層をさほど深くまで除去しないで良いこととなる。これは、フリー層の膜厚が今後ますます薄くなることとあわせて、製造工程を著しく容易にする。従って、フリー層と縦バイアス磁界用の反強磁性体層との間に良好な交換結合を容易にかつ確実に与えることができる。

【0186】本発明によれば、さらに、保護層が、Cu、Al、Rh、Ru、Pt、RuRhMn、PtMn、PtMnRh及びTiWから選ばれた1つの単層膜で形成されているか、又はTa/PtMn、Ta/Cu、Ta/Al、Ta/Ru、TiW/Cu、TiW/Rh及びTiW/Ruから選ばれた1つの2層膜で形成されていることにより、従来のごとくTaの単層膜で構成していた場合に比して、イオンミリングによって保護層の成分元素がフリー層内に拡散する度合を著しく小さくできるので、フリー層をさほど深くまでミリング除去しないで良いことにつながり、ミリング後のフリー層の厚みが大きく取れることを意味している。従って、フリー層の膜厚が今後ますます薄くなっても、製造工程が

【図1】



非常に容易となる。その結果、フリー層と縦バイアス磁界用の第2の反強磁性体層との間に良好な交換結合を容易にかつ確実に与えることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態として、薄膜磁気ヘッドのスピンバルブMRセンサ部分の層構成を概略的に示す断面図である。

【図2】図1の実施形態におけるスピンバルブMRセンサの製造工程を説明するフローチャートである。

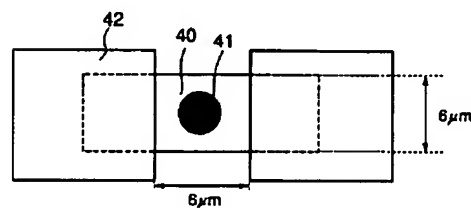
【図3】図1の実施形態における各製造工程における層構成を示す断面図である。

【図4】交換結合バイアス磁界の大きさの測定方法を説明する図である。

【符号の説明】

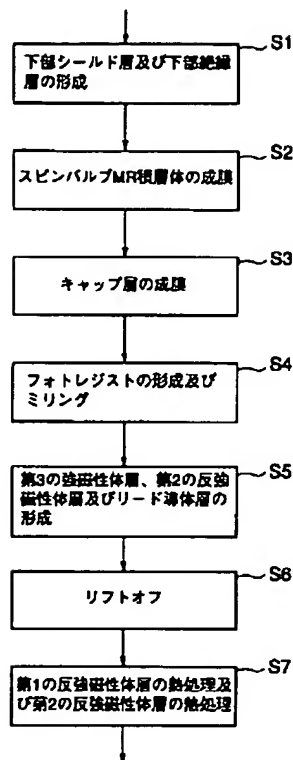
- 10 下部シールド層
- 11 下部絶縁層
- 12 スピンバルブMR積層体
- 13 第3の強磁性体層
- 14 交換結合用の第2の反強磁性体層
- 15 リード導体層
- 16 保護層（キャップ層）
- 17 フォトリソグパターン
- 120 第1の反強磁性体層
- 121 第1の強磁性体層（ピン層）
- 122 非磁性金属層
- 123 第2の強磁性体層（フリー層）
- 123a トラック幅方向の両端部

【図4】

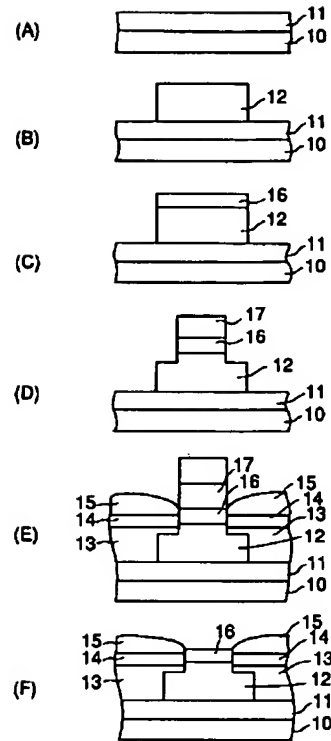


Color added
by Examiner
- JAW

【図2】



【図3】



【手続補正書】

【提出日】平成11年11月2日（1999. 11. 2）

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0051

【補正方法】変更

【補正内容】

【0051】成膜直後にイオンミリングを行った場合、フリー層を4nm以上エッチングして初めて縦バイアス磁界が300e以上となる。縦バイアス磁界が300e以上となることは、前述したようにバルクハウゼンノイズ発生率が5%以下となることであるから、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とし、オージェ強度比を10%以下とするには、フリー層を4nm以上エッチングする必要があることが分かる。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0108

【補正方法】変更

【補正内容】

【0108】キャップ層としてPtMnの単層膜を用いれば、実施例1のごとくTaの単層膜を用いた従来技術に比して、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするために必要となるミリング深さがより小さくなる。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0170

【補正方法】変更

【補正内容】

【0170】成膜直後にイオンミリングを行った場合、フリー層のエッチングが3nm未満でも縦バイアス磁界が300e以下となる。縦バイアス磁界が300e以下となることは、前述したようにバルクハウゼンノイズ発生率が5%以下となることであるから、バルクハウゼンノイズ発生率を5%以下とするには、フリー層を3nm弱以上エッチングすればよいことが分かる。

フロントページの続き

(72)発明者 荒木 悟

東京都中央区日本橋一丁目13番1号ディー
ディーケイ株式会社内

Fターム(参考) 5D034 BA04 BA17 CA08 DA07

[JP,2000-228003,A]
machine translation from

[http://www4.ipdl.ncipi.go.jp/Tokujitu/PAJdetail.ipdl?N0000=60&N0120=01
&N2001=2&N3001=](http://www4.ipdl.ncipi.go.jp/Tokujitu/PAJdetail.ipdl?N0000=60&N0120=01&N2001=2&N3001=)

2000-228003

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this

translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect

the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the magneto-resistive effect (MR)

sensor using giant magneto-resistance (GMR) or spin tunnel magneto-resistive effects

(TMR), such as the spin bulb effectiveness, and the manufacture approach of this MR

sensor. Although this kind of MR sensor is used for various magnetic detection, it is

used for the magnetic head for magnetic recorder and reproducing devices, such as a

hard disk drive unit (HDD), as that typical example.

[0002]

[Description of the Prior Art] In recent years, in connection with the densification

of HDD, the magnetic head of high sensitivity and high power is demanded, and the

thin film magnetic head equipped with MR sensor using the spin bulb which is one of

the sensors which present GMR as what replies to such a demand is proposed

(JP,8-21166,B, JP,6-236527,A).

[0003] It is made to impress the exchange bias field produced in that interface to

the ferromagnetic layer (PINDO (pinned) layer) of one of these by a spin bulb's

separating two ferromagnetic layers magnetically in a non-magnetic metal layer,

making them sandwich structure, and carrying out the laminating of the

antiferromagnetic substance layer to the ferromagnetic layer of one of these. Since

the sense of magnetization of these [whose non-magnetic metal layer is pinched since

the fields which carry out flux reversal in the pinned layer which receives an

exchange bias field, and the ferromagnetic layer (free (free) layer) of another side

which is not received differ] two ferromagnetic layers changes with parallel and

anti-parallel and electrical resistivity changes a lot by this, GMR is obtained.

[0004] The output characteristics of a spin bulb MR sensor etc. become settled with

the include angle which magnetization of these [whose non-magnetic metal layer is

pinched] two ferromagnetic layers (a pinned layer and free layer) makes. The

magnetization direction of a free layer is easily turned to in the direction of the

leakage field from a magnetic-recording medium. On the other hand, the magnetization

direction of a pinned layer is controlled by switched connection with

an

antiferromagnetic substance layer by the one direction (the direction, the direction

of PINDO by which pinning is carried out).

[0005] A free layer needs to carry out magnetization change in the condition that

there is no migration of a magnetic domain wall, at the time of spin bulb MR sensor

actuation. This is because it becomes the noise component called a Barkhausen noise

since the magnetization change accompanied by domain wall displacement has a slow

response compared with the magnetization change without domain wall displacement and

it is irreversible. For this reason, generally impressing a bias field (vertical bias

field) to a free layer, and controlling domain wall displacement with a hard magnet,

is performed.

[0006] However, when a sensor is used in the state of an elevated temperature, there

is a problem that fluctuation of the direction of PINDO and fluctuation of own

magnetic properties of a free layer occur under the effect of the vertical bias field

to a free layer, consequently degradation of an output occurs. For this reason, it is

necessary to suppress a vertical bias field to the necessary minimum value which

magnetic-domain control takes.

[0007] Then, magnetic-domain structure is stabilized by the vertical bias field by

the free layer and the antiferromagnetic substance layer through a new ferromagnetic

layer, and the approach of controlling the domain wall displacement at the time of

sensor actuation is proposed (JP,8-45032,A). Since it is possible to impress a bias

field only to the edge of a free layer according to this method of generating a

vertical bias field by the antiferromagnetic substance layer, the field impressed to

the whole layered product compared with a hard magnet bias method becomes small.

Consequently, output degradation at the time of an activity in the elevated-temperature condition of a sensor becomes small.

[0008]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] In this kind that has the 2nd

antiferromagnetic substance layer for vertical bias field impression of spin bulb MR

sensor Especially, on a substrate, carry out the laminating of the 1st

antiferromagnetic substance layer, pinned layer, non-magnetic metal layer, and free

layer in this sequence, and a spin bulb layered product is formed. In the spin bulb

MR sensor which was made to expose the both ends of a free layer and furthermore

prepared the 2nd antiferromagnetic substance layer for vertical bias field impression

through the ferromagnetic layer on it on it after carrying out the laminating of the

protective layer In case it mills in order to expose the both ends of a free layer by

milling etc., the element of the ingredient which constitutes a protective layer is

spread in a free layer, and there is a possibility that the switched connection for a

vertical bias field may be checked by the interface.

[0009] In order to make good switched connection for a vertical bias

field, the

technique which cleans the front face of MR component is well-known.
For example, in

case the antiferromagnetic substance layer for vertical bias fields is formed in

JP,7-210834,A and JP,7-244821,A after carrying out patterning of the MR component to

a predetermined configuration, in order to take magnetic association, removing the

oxide film produced on the front face of MR component is indicated.
[0010] However, neither of these techniques is related with GMR sensors, such as a

spin bulb MR sensor, and does not solve the failure according [and] to diffusion of

the element of other layers to the inside of a free layer. And there is also no clear

disclosure of at which event in a production process to clean a front face.

[0011] The object of this invention is to offer the manufacture approach of MR sensor

which can be made to generate good switched connection between a free layer, the

ferromagnetic layer for vertical bias fields, and an antiferromagnetic substance

layer, and this MR sensor.

[0012]

[Means for Solving the Problem] The 1st ferromagnetic layer to which a bias field is

impressed by switched connection with the 1st antiferromagnetic substance layer and

the 1st antiferromagnetic substance layer according to this invention (pinned layer),

And the step which forms MR layered product which has the 2nd ferromagnetic layer

(free layer) from which a laminating is carried out through a non-magnetic-material

layer on the 1st ferromagnetic layer, the signal field by which a seal of approval is

carried out is answered, and the magnetization direction changes, The step which

carries out the laminating of the protective layer on formed MR layered product, and

the step which removes the both ends of a free layer to the predetermined depth while

removing a part of protective layer [at least], At least, it has the step which

forms the 2nd antiferromagnetic substance layer for the switched connection for [of

a free layer] controlling the magnetic domain of this free layer on both ends, and

the manufacture approach of MR sensor of performing the step which a **** removes

before heat treatment for the magnetization directional control of the 1st

antiferromagnetic substance layer is offered.

[0013] In case the 2nd antiferromagnetic substance layer for the switched connection

for generating the vertical bias which controls the magnetic domain of a free layer

is formed, he is trying to remove the both ends of a free layer to the predetermined

depth, and, moreover, the process to remove is performed before heat treatment for

the magnetization directional control of the 1st antiferromagnetic substance layer of

MR layered product. By removing the both ends of a free layer to the predetermined

depth, the part which the component element of the protective layer produced when

removing a protective layer diffused in the free layer can be removed certainly, and

good switched connection can be given between a free layer and the 2nd

antiferromagnetic substance layer for vertical bias fields.

[0014] moreover, good by performing the step to remove before heat treatment for the

magnetization directional control of the 1st antiferromagnetic substance layer,

without the component element of a protective layer being able to stop the degree

diffused in a free layer to the minimum and carrying out until clearance of the free

layer so deeply, since progress of diffusion by heat treatment can be controlled. The

thickness of a free layer becoming thinner future still as for this and an interval

make a production process remarkably easy. Therefore, good switched connection can be

given easily and certainly between a free layer and the antiferromagnetic substance

layer for vertical bias fields.

[0015] In addition, it is desirable that the predetermined depth in the case of

removing a free layer to the predetermined depth is the depth used as extent from

which switched connection is not prevented with the element of the protective layer

ingredient diffused in the free layer.

[0016] It is also desirable to form a protective layer by monolayer. In this case, it

is more desirable to form a protective layer by one monolayer chosen from Cu,

aluminum, Rh, Ru, Pt, RuRhMn, PtMn, PtMnRh, and TiW.

[0017] if a protective layer is constituted from monolayer of such an ingredient,

since the degree which the component element of a protective layer diffuses in a free

layer by ion milling can be made remarkably small as compared with the case where it

constitutes from monolayer of Ta like the former, it leads to it being good without

carrying out until milling clearance of the free layer so deeply, and means that the

large thickness of the free layer after milling can be taken. Therefore, a production

process becomes very easy even if the thickness of a free layer becomes thinner

future still. Consequently, good switched connection can be given easily and

certainly between a free layer and the 2nd antiferromagnetic substance layer for

vertical bias fields.

[0018] It is also desirable to form a protective layer by the multilayer. In this

case, it is more desirable to form a protective layer by one two-layer film chosen

from Ta/PtMn, Ta/Cu, Ta/aluminum, Ta/Ru, TiW/Cu, TiW/Rh, and TiW/Ru. [0019] if a protective layer is constituted from two-layer film of such an

ingredient, since the degree which the component element of a protective layer

diffuses in a free layer by ion milling can be made remarkably small as compared with

the case where it constitutes from monolayer of Ta like the former, it leads to it

being good without carrying out until milling clearance of the free layer so deeply,

and means that the large thickness of the free layer after milling can be taken.

Therefore, a production process becomes very easy even if the thickness of a free

layer becomes thinner future still. Consequently, good switched connection can be

given easily and certainly between a free layer and the 2nd antiferromagnetic

substance layer for vertical bias fields.

[0020] It is desirable that MR layered product is a spin bulb MR layered product or a

spin tunnel MR layered product.

[0021] The 1st ferromagnetic layer to which a bias field is further impressed by

switched connection with the 1st antiferromagnetic substance layer and the 1st

antiferromagnetic substance layer according to this invention (pinned layer), And MR

layered product which has the 2nd ferromagnetic layer (free layer) from which the

signal field by which the laminating is carried out through the non-magnetic-material

layer on the 1st ferromagnetic layer, and a seal of approval is carried out is

answered, and the magnetization direction changes, The 2nd antiferromagnetic

substance layer for the switched connection for the laminating being carried out on

the both ends of the free layer of MR layered product, and controlling the magnetic

domain of this free layer, It has the protective layer by which the laminating was

carried out on MR layered product. A protective layer Cu, [whether it is formed by

one monolayer chosen from aluminum, Rh, Ru, Pt, RuRhMn, PtMn, PtMnRh, and TiW, and]

Or MR sensor currently formed by one two-layer film chosen from Ta/PtMn, Ta/Cu,

Ta/aluminum, Ta/Ru, TiW/Cu, TiW/Rh, and TiW/Ru is offered.

[0022] if a protective layer is constituted from the monolayer or the two-layer film

of such an ingredient, since the degree which the component element of a protective

layer diffuses in a free layer by ion milling can be made remarkably small as

compared with the case where it constitutes from monolayer of Ta like the former, it

leads to it being good without carrying out until milling clearance of the free layer

so deeply, and means that the large thickness of the free layer after milling can be

taken. Therefore, a production process becomes very easy even if the thickness of a

free layer becomes thinner future still. Consequently, good switched connection can

be given easily and certainly between a free layer and the 2nd antiferromagnetic

substance layer for vertical bias fields.

[0023] It is desirable that MR layered product is a spin bulb MR layered product or a

spin tunnel MR layered product.

[0024]

[Embodiment of the Invention] Drawing 1 is the sectional view showing roughly the

lamination of the spin bulb MR sensor part of the thin film magnetic head as 1

operation gestalt of this invention, and expresses the cross section seen from [of

the magnetic head] the floatation side (ABS).

[0025] In this drawing, the lower shielding layer currently formed through the

substrate film on the substrate which 10 does not illustrate, the lower insulating

layer by which the laminating of 11 is carried out on it, and 12 show the spin bulb

MR layered product by which the laminating is carried out on the lower insulating

layer 11, respectively.

[0026] The spin bulb MR layered product 12 The lower part to 1st antiferromagnetic

substance layer 120, The 1st ferromagnetic layer 121 to which a bias field is

impressed by switched connection with the 1st antiferromagnetic substance layer

(pinned layer), The laminating is carried out on the non-magnetic metal layer 122 by

which the laminating was carried out on the pinned layer 121, and the non-magnetic

metal layer 122, and it consists of the 2nd ferromagnetic layer (free layer) 123 from

which the signal field by which a seal of approval is carried out is answered, and

the magnetization direction changes.

[0027] In this drawing, the adhesion laminating of 13 and 14 is further carried out

to the front face of both-ends 123a of the truck cross direction of the free layer

123 of the spin bulb MR layered product 12. The 3rd ferromagnetic layer for

controlling the magnetic domain of this free layer 123 and the 2nd antiferromagnetic

substance layer for switched connection, the lead conductor layer by which the

laminating of 15 was carried out on the 2nd antiferromagnetic substance layer 14, and

16 show the protective layer (cap layer) by which the laminating was carried out on

the spin bulb MR layered product 12, respectively.

[0028] In this operation gestalt as Ta (5nm) and 1st antiferromagnetic substance

layer 120 as substrate film PtMn (20nm), As a pinned layer 121, as Co (2nm) and a

non-magnetic metal layer 122 Cu (2.5nm), RuRhMn (10nm) is used as NiFe

(25nm) and 2nd

antiferromagnetic substance layer 14 as a free layer 123 as Co (1nm) and NiFe (8nm),

and 3rd ferromagnetic layer 13. Furthermore, one two-layer film (2.5nm / 2.5nm)

chosen from the monolayer (5nm) by one ingredient chosen from Cu, aluminum, Rh, Ru,

Pt, RuRhMn, PtMn, PtMnRh, and TiW or Ta/PtMn, Ta/Cu, Ta/aluminum, Ta/Ru, TiW/Cu,

TiW/Rh, and TiW/Ru as a cap layer 16 is used. In addition, the display which it"/"/[

between elements] Comes to set in this description means that the laminating of both

the elements is carried out up and down. "Ta/PtMn" Ta layer and the PtMn layer mean

that the laminating is carried out so that, as for an unstated publication, Ta layer

may turn up. Therefore, in all above-mentioned two-layer film, Ta or TiW serves as an

upper layer (layer of the side which does not contact a free layer). [0029] as an antiferromagnetic substance ingredient -- Pt47 - 52at% and Mn48-53at% --

a presentation (most -- desirable -- Pt48at% --) Mn52at% -- PtMn [of a presentation

], Pt33 - 52at%, Mn45 - 57at% -- Rh0-17at% -- a presentation (most -- desirable --

Pt40at% and Mn51at% --) Rh9at% -- PtMnRh [of a presentation] or Ru0 - 20at% -- Rh0

- 20at% and Mn75-85at% -- by using RuRhMn of a presentation (most preferably Ru3at%

and Rh15at% and Mn82at% presentation) Both the 1st antiferromagnetic substance layer

120 and the 2nd antiferromagnetic substance layer 14 can share the target by this

ingredient. These presentations are presentation fields from which big
Page 12

switched

connection is already obtained with a ferromagnetic in well-known "thick-film field"

with various reference, patent official reports, etc.

[0030] Drawing 2 is a flow chart explaining the production process of the spin bulb

MR sensor in the operation gestalt of drawing 1 , and drawing 3 is the sectional view

showing the lamination in each of that production process.

[0031] As shown in (A) of step S1 of drawing 2 , and drawing 3 , the lower shielding

layer 10 and the lower insulating layer 11 are formed through the substrate film on

the substrate which is not illustrated.

[0032] Subsequently, as shown in (B) of step S2 of drawing 2 , and drawing 3 , the

spin bulb MR layered product 12 which consists of the 1st antiferromagnetic substance

layer 120, pinned layer 121, non-magnetic metal layer 122, and free layer 123 on the

lower insulating layer 11 is formed.

[0033] Then, as shown in (C) of step S3 of drawing 2 , and drawing 3 , the cap layer

16 is formed on the spin bulb MR layered product 12.

[0034] Although regulation-ized heat treatment of the 1st antiferromagnetic substance

layer 120 was conventionally performed at this event In this invention, without

performing this heat treatment, as shown in step S4 of drawing 2 , and (D) of drawing

3 After the part corresponding to both-ends 123a of the free layer 123 forms the

photoresist pattern 17 which is carrying out opening, while performing dry etching,

such as ion milling, and removing all the both ends of the cap layer 16, both-ends

123a of the free layer 123 is removed by predetermined Mr. Fukashi. The predetermined

depth in this case is the depth from which the element of the ingredient of the

protective layer 16 diffused in the free layer 123 by ion milling serves as extent

which does not check switched connection.

[0035] Subsequently, as shown in (E) of step S5 of drawing 2 , and drawing 3 ,

laminating formation of the 3rd ferromagnetic layer 13, the 2nd antiferromagnetic

substance layer 14, and the lead conductor layer 15 is carried out, respectively so

that it may stick to the front face which milling was carried out and has been

exposed to the predetermined depth of both-ends 123a of the free layer 123.

[0036] Subsequently, as shown in (F) of step S6 of drawing 2 , and drawing 3 ,

lift-off processing is performed and the photoresist pattern 17, and the 3rd

ferromagnetic layer 13, the 2nd antiferromagnetic substance layer 14 and the lead

conductor layer 15 by which the laminating is carried out on it are removed.

[0037] Then, as shown in step S7 of drawing 2 , while performing regulation-ized heat

treatment of the 1st antiferromagnetic substance layer 120 of the spin bulb MR

layered product 12, regulation-ized heat treatment of the 2nd antiferromagnetic

substance layer 14 is performed.

[0038] Thus, according to this operation gestalt, before forming the 2nd

antiferromagnetic substance layer 14 for the switched connection for generating the

vertical bias which controls the magnetic domain of the free layer

123, the both ends

of the free layer 123 are removed to the predetermined depth.
Consequently, the part

which the component element of the protective layer 16 produced when
removing a

protective layer 16 diffused can be removed certainly, and good
switched connection

can be given between the free layer 123, the 3rd ferromagnetic layer
13 for vertical

bias fields, and the 2nd antiferromagnetic substance layer 14.
[0039] And since the process to remove is performed before performing
regulation-ized

heat treatment for the magnetization directional control of the 1st
antiferromagnetic

substance layer 120 of the spin bulb MR layered product 12, and
progress of diffusion

by heat treatment can be controlled, the degree which the component
element of a

protective layer 16 diffuses in the free layer 123 can be stopped to
the minimum.

this leads to it being good without carrying out until milling
clearance of the free

layer 123 so deeply, and means that the large thickness of the free
layer 123 after

milling can be taken. Consequently, a production process becomes very
easy even if

the thickness of the free layer 123 becomes thinner future still.
Therefore, good

switched connection can be given easily and certainly between the free
layer 123, the

3rd ferromagnetic layer 13 for vertical bias fields, and the 2nd
antiferromagnetic

substance layer 14.

[0040] As an ingredient of the cap layer 16, furthermore, Cu,
aluminum, Rh, Ru, Pt,

The monolayer by one ingredient chosen from RuRhMn, PtMn, PtMnRh, and TiW, Or by

using one two-layer film chosen from Ta/PtMn, Ta/Cu, Ta/aluminum, Ta/Ru, TiW/Cu,

TiW/Rh, and TiW/Ru since the component element can make remarkably small the degree

diffused in the free layer 123 by ion milling, it leads to it being good without

carrying out until milling clearance of the free layer 123 so deeply, and means that

the large thickness of the free layer 123 after milling can be taken. Therefore, a

production process becomes very easy even if the thickness of the free layer 123

becomes thinner future still. Consequently, good switched connection can be given

easily and certainly between the free layer 123, the 3rd ferromagnetic layer 13 for

vertical bias fields, and the 2nd antiferromagnetic substance layer 14.

[0041]

[Example] Hereafter, about the various spin bulb MR sensors by which the ingredients

of the cap layer 16 differ, the sample at the time of changing the milling depth of

the free layer 123 is created, and the result of having measured the vertical bias

field by switched connection is explained.

[0042] In this kind that has the 2nd antiferromagnetic substance layer for vertical

bias field impression like this operation gestalt of spin bulb MR sensor, if the

relation of the magnitude of a vertical bias field and the incidence rate (the

occurrences/measurement size of a Barkhausen noise) of a Barkhausen noise by switched

connection is investigated actually, as shown in a table 1, it will become.

[0043]

[A table 1]

[0044] As shown in drawing 4 , from the spin bulb MR layered product test piece 40 of

the width-of-recording-track 6 micrometerxMR height 6micrometer size in a wafer, the

magnitude of a switched connection bias field irradiated the laser light 41 of 3

micrometers of diameters of a spot, and it asked for it by evaluating the Kerr effect

by MH-LOOP measurement. The lamination of the spin bulb MR layered product 40 is

Ta(5nm)/NiFe(8nm)/Co(1nm)/Cu(2.5nm)/Co(2nm)/PtMn (20nm) / Ta (5nm), and the

lamination of the vertical bias field generating section 42 is NiFe(25nm)/RuRhMn

(10nm). Incidentally, unlike this, the size in the case of a real component is

width-of-recording-track [of 1.0 micrometers], and MR height 1.2micrometer.

[0045] The Barkhausen noise incidence rate of the sample which the switched

connection bias field of this test pattern extracted from the wafer in which 30 or

more Oes were shown was 5% or less, and even if it strengthened the bias field more

than it, the Barkhausen noise incidence rate did not change. Therefore, it turns out

that milling conditions from which the bias field of a test pattern is set to 30 or

more Oes are needed.

[0046] In the following examples each sample as lamination of a spin bulb MR layered

product They are cap layer (5nm) /

NiFe(8nm)/Co(1nm)/Cu(2.5nm)/Co(2nm)/PtMn (20nm) /

Ta (5nm). The lamination of the vertical bias field generating section is a

configuration of RuRhMn (10nm) as NiFe (25nm) and 2nd antiferromagnetic substance

layer as 3rd ferromagnetic layer 13.

[0047] It is the case where the monolayer of Ta (5nm) which is the conventional

technique as an example 1 cap layer is used. A table 2 - a table 4 show the relation

between the milling depth (from a free layer front face) of the NiFe layer which is a

free layer, and the magnitude of the bias field for a test piece center section, and

a table 2 shows the case where a table 4 performs ion milling after heat treatment of

300 degrees C - 5 hours, when ion milling is performed after a table 3 performed heat

treatment of 250 degrees C - 5 hours, when ion milling was performed immediately

after membrane formation. especially -- a table 2 and a table 4 -- Auger -- the

presentation ratio (Auger reinforcement) of Ta to NiFe in the front face for which it

asked with the spectrum and by which milling was carried out is shown corresponding

to the milling depth of a NiFe layer.

[0048]

[A table 2]

[0049]

[A table 3]

[0050]

[A table 4]

[0051] when ion milling is performed immediately after membrane formation, a vertical

bias field is set to 30 or less Oes only after etching 4nm or more of free layers.

Since it is that a Barkhausen noise incidence rate becomes 5% or less as mentioned

above, in order for it to make a Barkhausen noise incidence rate 5% or less that a

vertical bias field is set to 30 or less Oes and to make the Auger intensity ratio

10% or less, it turns out that it is necessary to etch 4nm or more of free layers.

[0052] when membranes are formed and ion milling is carried out after heat treatment

of 250 degrees C - 5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into

5% or less, when it is necessary to etch 6nm or more of free layers, membranes are

formed further and ion milling is carried out after heat treatment of 300 degrees C -

5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or less and to

make the Auger intensity ratio into 10% or less, it turns out that it is necessary to

etch 7nm or more of free layers.

[0053] If the Auger intensity ratio of a table 2 and a table 4 is compared and the

large milling depth will not be taken since diffusion will progress, if it carries

out after heat-treating the ion milling of a free layer so that clearly, sufficient

vertical bias field cannot be acquired, and a Barkhausen noise incidence rate cannot

be made into 5% or less. However, also when the monolayer of Ta which is the

conventional technique as a cap layer was used like this example and

ion milling is

carried out immediately after membrane formation, the needed milling depth becomes

comparatively large.

[0054] It is the case where the monolayer of Cu (5nm) is used as an example 2 cap

layer. A table 5 - a table 7 show the relation between the milling depth (from a free

layer front face) of the NiFe layer which is a free layer, and the magnitude of the

bias field for a test piece center section, and a table 5 shows the case where a

table 7 performs ion milling after heat treatment of 300 degrees C - 5 hours, when

ion milling is performed after a table 6 performed heat treatment of 250 degrees C -

5 hours, when ion milling was performed immediately after membrane formation. a table

5 and a table 7 -- Auger -- the presentation ratio (Auger reinforcement) of Cu to

NiFe in the front face for which it asked with the spectrum and by which milling was

carried out is shown corresponding to the milling depth of a NiFe layer.

[0055]

[A table 5]

[0056]

[A table 6]

[0057]

[A table 7]

[0058] when ion milling is performed immediately after membrane formation, if 3nm or

more of free layers is etched, a vertical bias field will be set to 30 or less Oes.

Since it is that a Barkhausen noise incidence rate becomes 5% or less as mentioned

above, in order for it to make a Barkhausen noise incidence rate 5% or less that a

vertical bias field is set to 30 or less Oes and to make the Auger intensity ratio

10% or less, it turns out that what is necessary is just to etch 3nm or more of free

layers.

[0059] when membranes are formed and ion milling is carried out after heat treatment

of 250 degrees C - 5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into

5% or less, when it is necessary to etch 4nm or more of free layers, membranes are

formed further and ion milling is carried out after heat treatment of 300 degrees C -

5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or less and to

make the Auger intensity ratio into 10% or less, it turns out that it is necessary to

etch 5nm or more of free layers.

[0060] If the monolayer of Cu is used as a cap layer, the milling depth which is

needed in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or less and to make

the Auger intensity ratio into 10% or less as compared with the conventional

technique which used the monolayer of Ta like the example 1 will become smaller.

[0061] Moreover, although sufficient vertical bias field cannot be acquired and a

Barkhausen noise incidence rate cannot be made into 5% or less if the Auger intensity

ratio of a table 5 and a table 7 is compared, and it carries out after heat-treating

the ion milling of a free layer so that clearly, and the large milling depth is not

taken, since diffusion progresses, the milling depth which is needed if it carries

out immediately after membrane formation is comparatively small.

[0062] It is the case where the monolayer of aluminum (5nm) is used as an example 3

cap layer. A table 8 - a table 10 show the relation between the milling depth (from a

free layer front face) of the NiFe layer which is a free layer, and the magnitude of

the bias field for a test piece center section, and a table 8 shows the case where a

table 10 performs ion milling after heat treatment of 300 degrees C - 5 hours, when

ion milling is performed after a table 9 performed heat treatment of 250 degrees C -

5 hours, when ion milling was performed immediately after membrane formation. In

addition, the Auger intensity ratio is not indicated by these tables in order to

indicate the inclination of almost resemblance to be the case of the above-mentioned

examples 1 and 2.

[0063]

[A table 8]

[0064]

[A table 9]

[0065]

[A table 10]

[0066] when ion milling is performed immediately after membrane formation, if 3nm or

more of free layers is etched, a vertical bias field will be set to 30 or less Oes.

Since it is that a Barkhausen noise incidence rate becomes 5% or less as mentioned

above, in order for it to make a Barkhausen noise incidence rate 5% or less that a

vertical bias field is set to 30 or less Oes, it turns out that what is necessary is

just to etch 3nm or more of free layers.

[0067] when membranes are formed and ion milling is carried out after heat treatment

of 250 degrees C - 5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into

5% or less, when it is necessary to etch 4nm or more of free layers, membranes are

formed further and ion milling is carried out after heat treatment of 300 degrees C -

5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or less, it turns

out that it is necessary to etch 5nm or more of free layers.

[0068] If the monolayer of aluminum is used as a cap layer, as compared with the

conventional technique which used the monolayer of Ta like the example 1, the milling

depth which is needed in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or

less will become smaller.

[0069] Moreover, although sufficient vertical bias field cannot be acquired and a

Barkhausen noise incidence rate cannot be made into 5% or less if it carries out

after heat-treating the ion milling of a free layer, and the large milling depth is

not taken, since diffusion progresses, the milling depth which is needed if it

carries out immediately after membrane formation is comparatively small.

[0070] It is the case where the monolayer of Rh (5nm) is used as an

example 4 cap

layer. A table 11 - a table 13 show the relation between the milling depth (from a

free layer front face) of the NiFe layer which is a free layer, and the magnitude of

the bias field for a test piece center section, and a table 11 shows the case where a

table 13 performs ion milling after heat treatment of 300 degrees C - 5 hours, when

ion milling is performed after a table 12 performed heat treatment of 250 degrees C -

5 hours, when ion milling was performed immediately after membrane formation. In

addition, the Auger intensity ratio is not indicated by these tables in order to

indicate the inclination of almost resemblance to be the case of the above-mentioned

examples 1 and 2.

[0071]

[A table 11]

[0072]

[A table 12]

[0073]

[A table 13]

[0074] when ion milling is performed immediately after membrane formation, if 3nm or

more of free layers is etched, a vertical bias field will be set to 30 or less Oes.

Since it is that a Barkhausen noise incidence rate becomes 5% or less as mentioned

above, in order for it to make a Barkhausen noise incidence rate 5% or less that a

vertical bias field is set to 30 or less Oes, it turns out that what

is necessary is

just to etch 3nm or more of free layers.

[0075] when membranes are formed and ion milling is carried out after heat treatment

of 250 degrees C - 5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into

5% or less, when it is necessary to etch 5nm or more of free layers, membranes are

formed further and ion milling is carried out after heat treatment of 300 degrees C -

5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or less, it turns

out that it is necessary to etch 6nm or more of free layers.

[0076] If the monolayer of Rh is used as a cap layer, as compared with the

conventional technique which used the monolayer of Ta like the example 1, the milling

depth which is needed in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or

less will become smaller.

[0077] Moreover, although sufficient vertical bias field cannot be acquired and a

Barkhausen noise incidence rate cannot be made into 5% or less if it carries out

after heat-treating the ion milling of a free layer, and the large milling depth is

not taken, since diffusion progresses, the milling depth which is needed if it

carries out immediately after membrane formation is comparatively small.

[0078] It is the case where the monolayer of Ru (5nm) is used as an example 5 cap

layer. A table 14 - a table 16 show the relation between the milling depth (from a

free layer front face) of the NiFe layer which is a free layer, and the magnitude of

the bias field for a test piece center section, and a table 14 shows the case where a

table 16 performs ion milling after heat treatment of 300 degrees C - 5 hours, when

ion milling is performed after a table 15 performed heat treatment of 250 degrees C -

5 hours, when ion milling was performed immediately after membrane formation. In

addition, the Auger intensity ratio is not indicated by these tables in order to

indicate the inclination of almost resemblance to be the case of the above-mentioned

examples 1 and 2.

[0079]

[A table 14]

[0080]

[A table 15]

[0081]

[A table 16]

[0082] when ion milling is performed immediately after membrane formation, if 3nm or

more of free layers is etched, a vertical bias field will be set to 30 or less Oes.

Since it is that a Barkhausen noise incidence rate becomes 5% or less as mentioned

above, in order for it to make a Barkhausen noise incidence rate 5% or less that a

vertical bias field is set to 30 or less Oes, it turns out that what is necessary is

just to etch 3nm or more of free layers.

[0083] when membranes are formed and ion milling is carried out after heat treatment

of 250 degrees C - 5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into

5% or less, when it is necessary to etch 4nm or more of free layers, membranes are

formed further and ion milling is carried out after heat treatment of 300 degrees C -

5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or less, it turns

out that it is necessary to etch 5nm or more of free layers.

[0084] If the monolayer of Ru is used as a cap layer, as compared with the

conventional technique which used the monolayer of Ta like the example 1, the milling

depth which is needed in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or

less will become smaller.

[0085] Moreover, although sufficient vertical bias field cannot be acquired and a

Barkhausen noise incidence rate cannot be made into 5% or less if it carries out

after heat-treating the ion milling of a free layer, and the large milling depth is

not taken, since diffusion progresses, the milling depth which is needed if it

carries out immediately after membrane formation is comparatively small.

[0086] It is the case where the monolayer of Pt (5nm) is used as an example 6 cap

layer. A table 17 - a table 19 show the relation between the milling depth (from a

free layer front face) of the NiFe layer which is a free layer, and the magnitude of

the bias field for a test piece center section, and a table 17 shows the case where a

table 19 performs ion milling after heat treatment of 300 degrees C - 5 hours, when

ion milling is performed after a table 18 performed heat treatment of 250 degrees C -

5 hours, when ion milling was performed immediately after membrane formation. In

addition, the Auger intensity ratio is not indicated by these tables in order to

indicate the inclination of almost resemblance to be the case of the above-mentioned

examples 1 and 2.

[0087]

[A table 17]

[0088]

[A table 18]

[0089]

[A table 19]

[0090] when ion milling is performed immediately after membrane formation, if 4nm or

more of free layers is etched, a vertical bias field will be set to 30 or less Oes.

Since it is that a Barkhausen noise incidence rate becomes 5% or less as mentioned

above, in order for it to make a Barkhausen noise incidence rate 5% or less that a

vertical bias field is set to 30 or less Oes, it turns out that what is necessary is

just to etch 4nm or more of free layers.

[0091] when membranes are formed and ion milling is carried out after heat treatment

of 250 degrees C - 5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into

5% or less, when it is necessary to etch 6nm or more of free layers, membranes are

formed further and ion milling is carried out after heat treatment of 300 degrees C -

5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or

less, it turns

out that it is necessary to etch 6nm or more of free layers.

[0092] If the monolayer of Rh is used as a cap layer, as compared with the

conventional technique which used the monolayer of Ta like the example 1, the milling

depth which is needed in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or

less will become smaller.

[0093] Moreover, although sufficient vertical bias field cannot be acquired and a

Barkhausen noise incidence rate cannot be made into 5% or less if it carries out

after heat-treating the ion milling of a free layer, and the large milling depth is

not taken, since diffusion progresses, the milling depth which is needed if it

carries out immediately after membrane formation is comparatively small.

[0094] It is the case where the monolayer of RuRhMn (5nm) is used as an example 7 cap

layer. A table 20 - a table 22 show the relation between the milling depth (from a

free layer front face) of the NiFe layer which is a free layer, and the magnitude of

the bias field for a test piece center section, and a table 20 shows the case where a

table 22 performs ion milling after heat treatment of 300 degrees C - 5 hours, when

ion milling is performed after a table 21 performed heat treatment of 250 degrees C -

5 hours, when ion milling was performed immediately after membrane formation. In

addition, the Auger intensity ratio is not indicated by these tables in order to

indicate the inclination of almost resemblance to be the case of the

above-mentioned

examples 1 and 2.

[0095]

[A table 20]

[0096]

[A table 21]

[0097]

[A table 22]

[0098] when ion milling is performed immediately after membrane formation, if 3nm or

more of free layers is etched, a vertical bias field will be set to 30 or less Oes.

Since it is that a Barkhausen noise incidence rate becomes 5% or less as mentioned

above, in order for it to make a Barkhausen noise incidence rate 5% or less that a

vertical bias field is set to 30 or less Oes, it turns out that what is necessary is

just to etch 3nm or more of free layers.

[0099] when membranes are formed and ion milling is carried out after heat treatment

of 250 degrees C - 5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into

5% or less, when it is necessary to etch 5nm or more of free layers, membranes are

formed further and ion milling is carried out after heat treatment of 300 degrees C -

5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or less, it turns

out that it is necessary to etch 6nm or more of free layers.

[0100] If the monolayer of RuRhMn is used as a cap layer, as compared with the

conventional technique which used the monolayer of Ta like the example 1, the milling

depth which is needed in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or

less will become smaller.

[0101] Moreover, although sufficient vertical bias field cannot be acquired and a

Barkhausen noise incidence rate cannot be made into 5% or less if it carries out

after heat-treating the ion milling of a free layer, and the large milling depth is

not taken, since diffusion progresses, the milling depth which is needed if it

carries out immediately after membrane formation is comparatively small.

[0102] It is the case where the monolayer of PtMn (5nm) is used as an example 8 cap

layer. A table 23 - a table 25 show the relation between the milling depth (from a

free layer front face) of the NiFe layer which is a free layer, and the magnitude of

the bias field for a test piece center section, and a table 23 shows the case where a

table 25 performs ion milling after heat treatment of 300 degrees C - 5 hours, when

ion milling is performed after a table 24 performed heat treatment of 250 degrees C -

5 hours, when ion milling was performed immediately after membrane formation. In

addition, the Auger intensity ratio is not indicated by these tables in order to

indicate the inclination of almost resemblance to be the case of the above-mentioned

examples 1 and 2.

[0103]

[A table 23]

[0104]

[A table 24]

[0105]

[A table 25]

[0106] when ion milling is performed immediately after membrane formation, if 2nm or

more of free layers is etched, a vertical bias field will be set to 30 or less Oes.

Since it is that a Barkhausen noise incidence rate becomes 5% or less as mentioned

above, in order for it to make a Barkhausen noise incidence rate 5% or less that a

vertical bias field is set to 30 or less Oes, it turns out that what is necessary is

just to etch 2nm or more of free layers.

[0107] when membranes are formed and ion milling is carried out after heat treatment

of 250 degrees C - 5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into

5% or less, when it is necessary to etch 3nm or more of free layers, membranes are

formed further and ion milling is carried out after heat treatment of 300 degrees C -

5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or less, it turns

out that it is necessary to etch 4nm or more of free layers.

[0108] If the monolayer of RuRhMn is used as a cap layer, as compared with the

conventional technique which used the monolayer of Ta like the example 1, the milling

depth which is needed in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or

less will become smaller.

[0109] Moreover, although sufficient vertical bias field cannot be acquired and a

Barkhausen noise incidence rate cannot be made into 5% or less if it carries out

after heat-treating the ion milling of a free layer, and the large milling depth is

not taken, since diffusion progresses, the milling depth which is needed if it

carries out immediately after membrane formation is comparatively small.

[0110] It is the case where the monolayer of PtMnRh (5nm) is used as an example 9 cap

layer. A table 8 - a table 10 show the relation between the milling depth (from a

free layer front face) of the NiFe layer which is a free layer, and the magnitude of

the bias field for a test piece center section, and a table 26 shows the case where a

table 28 performs ion milling after heat treatment of 300 degrees C - 5 hours, when

ion milling is performed after a table 27 performed heat treatment of 250 degrees C -

5 hours, when ion milling was performed immediately after membrane formation. In

addition, the Auger intensity ratio is not indicated by these tables in order to

indicate the inclination of almost resemblance to be the case of the above-mentioned

examples 1 and 2.

[0111]

[A table 26]

[0112]

[A table 27]

[0113]

[A table 28]

[0114] when ion milling is performed immediately after membrane

formation, if 3nm or

more of free layers is etched, a vertical bias field will be set to 30 or less Oes.

since it is that a Barkhausen noise incidence rate becomes 5% or less as mentioned

above, in order for it to make a Barkhausen noise incidence rate 5% or less that a

vertical bias field is set to 30 or less Oes, it turns out that what is necessary is

just to etch 3nm or more of free layers.

[0115] when membranes are formed and ion milling is carried out after heat treatment

of 250 degrees C - 5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into

5% or less, when it is necessary to etch 3nm or more of free layers, membranes are

formed further and ion milling is carried out after heat treatment of 300 degrees C -

5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or less, it turns

out that it is necessary to etch 4nm or more of free layers.

[0116] If the monolayer of PtMnRh is used as a cap layer, as compared with the

conventional technique which used the monolayer of Ta like the example 1, the milling

depth which is needed in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or

less will become smaller.

[0117] Moreover, although sufficient vertical bias field cannot be acquired and a

Barkhausen noise incidence rate cannot be made into 5% or less if it carries out

after heat-treating the ion milling of a free layer, and the large milling depth is

not taken, since diffusion progresses, the milling depth which is needed if it

carries out immediately after membrane formation is comparatively small.

[0118] It is the case where the monolayer of Ti₁₀W₉₀ (Ti is 10at(s)% and W is

90at(s)%) (5nm) of an amorphous presentation is used as an example 10 cap layer. A

table 29 - a table 31 show the relation between the milling depth (from a free layer

front face) of the NiFe layer which is a free layer, and the magnitude of the bias

field for a test piece center section, and a table 29 shows the case where a table 31

performs ion milling after heat treatment of 300 degrees C - 5 hours, when ion

milling is performed after a table 30 performed heat treatment of 250 degrees C - 5

hours, when ion milling was performed immediately after membrane formation. In

addition, the Auger intensity ratio is not indicated by these tables in order to

indicate the inclination of almost resemblance to be the case of the above-mentioned

examples 1 and 2.

[0119]

[A table 29]

[0120]

[A table 30]

[0121]

[A table 31]

[0122] when ion milling is performed immediately after membrane formation, if 3nm or

more of free layers is etched, a vertical bias field will be set to 30 or less Oes.

Since it is that a Barkhausen noise incidence rate becomes 5% or less as mentioned

above, in order for it to make a Barkhausen noise incidence rate 5% or less that a

vertical bias field is set to 30 or less Oes, it turns out that what is necessary is

just to etch 3nm or more of free layers.

[0123] when membranes are formed and ion milling is carried out after heat treatment

of 250 degrees C - 5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into

5% or less, when it is necessary to etch 4nm or more of free layers, membranes are

formed further and ion milling is carried out after heat treatment of 300 degrees C -

5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or less, it turns

out that it is necessary to etch 4nm or more of free layers.

[0124] If the monolayer of Ti10W90 of an amorphous presentation is used as a cap

layer, as compared with the conventional technique which used the monolayer of Ta

like the example 1, the milling depth which is needed in order to make a Barkhausen

noise incidence rate into 5% or less will become smaller.

[0125] Moreover, although sufficient vertical bias field cannot be acquired and a

Barkhausen noise incidence rate cannot be made into 5% or less if it carries out

after heat-treating the ion milling of a free layer, and the large milling depth is

not taken, since diffusion progresses, the milling depth which is needed if it

carries out immediately after membrane formation is comparatively small.

[0126] It is the case where the two-layer film of Ta (2.5nm)/PtMn (2.5nm) is used as

an example 11 cap layer (Ta layer is an upside). A table 32 - a table 34 show the

relation between the milling depth (from a free layer front face) of the NiFe layer

which is a free layer, and the magnitude of the bias field for a test piece center

section, and a table 32 shows the case where a table 34 performs ion milling after

heat treatment of 300 degrees C - 5 hours, when ion milling is performed after a

table 33 performed heat treatment of 250 degrees C - 5 hours, when ion milling was

performed immediately after membrane formation. In addition, the Auger intensity

ratio is not indicated by these tables in order to indicate the inclination of almost

resemblance to be the case of the above-mentioned examples 1 and 2.

[0127]

[A table 32]

[0128]

[A table 33]

[0129]

[A table 34]

[0130] when ion milling is performed immediately after membrane formation, if a

little less than 3nm or more of free layers is etched, a vertical bias field will be

set to 30 or less Oes. Since it is that a Barkhausen noise incidence rate becomes 5%

or less as mentioned above, in order for it to make a Barkhausen noise incidence rate

5% or less that a vertical bias field is set to 30 or less Oes, it turns out that

what is necessary is just to etch a little less than 3nm or more of free layers.

[0131] When membranes are formed and ion milling is carried out after heat treatment

of 250 degrees C - 5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into

5% or less, when it is necessary to etch 3nm or more of free layers, membranes are

formed further and ion milling is carried out after heat treatment of 300 degrees C -

5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or less, it turns

out that it is necessary to etch 4nm or more of free layers.

[0132] If the two-layer film of Ta/PtMn is used as a cap layer, as compared with the

conventional technique which used the monolayer of Ta like the example 1, the milling

depth which is needed in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or

less will become smaller.

[0133] Moreover, although sufficient vertical bias field cannot be acquired and a

Barkhausen noise incidence rate cannot be made into 5% or less if it carries out

after heat-treating the ion milling of a free layer, and the large milling depth is

not taken, since diffusion progresses, the milling depth which is needed if it

carries out immediately after membrane formation is comparatively small.

[0134] It is the case where the two-layer film of Ta (2.5nm)/Cu (2.5nm) is used as an

example 12 cap layer (Ta layer is an upside). A table 35 - a table 37 show the

relation between the milling depth (from a free layer front face) of the NiFe layer

which is a free layer, and the magnitude of the bias field for a test piece center

section, and a table 35 shows the case where a table 37 performs ion milling after

heat treatment of 300 degrees C - 5 hours, when ion milling is performed after a

table 36 performed heat treatment of 250 degrees C - 5 hours, when ion milling was

performed immediately after membrane formation. In addition, the Auger intensity

ratio is not indicated by these tables in order to indicate the inclination of almost

resemblance to be the case of the above-mentioned examples 1 and 2.

[0135]

[A table 35]

[0136]

[A table 36]

[0137]

[A table 37]

[0138] when ion milling is performed immediately after membrane formation, if 2nm or

more of free layers is etched, a vertical bias field will be set to 30 or less Oes.

Since it is that a Barkhausen noise incidence rate becomes 5% or less as mentioned

above, in order for it to make a Barkhausen noise incidence rate 5% or less that a

vertical bias field is set to 30 or less Oes, it turns out that what is necessary is

just to etch 2nm or more of free layers.

[0139] when membranes are formed and ion milling is carried out after heat treatment

of 250 degrees C - 5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into

5% or less, when it is necessary to etch 3nm or more of free layers, membranes are

formed further and ion milling is carried out after heat treatment of 300 degrees C -

5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or less, it turns

out that it is necessary to etch 3nm or more of free layers.

[0140] If the two-layer film of Ta/Cu is used as a cap layer, as compared with the

conventional technique which used the monolayer of Ta like the example 1, the milling

depth which is needed in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or

less will become smaller.

[0141] Moreover, although sufficient vertical bias field cannot be acquired and a

Barkhausen noise incidence rate cannot be made into 5% or less if it carries out

after heat-treating the ion milling of a free layer, and the large milling depth is

not taken, since diffusion progresses, the milling depth which is needed if it

carries out immediately after membrane formation is comparatively small.

[0142] It is the case where the two-layer film of Ta (2.5nm)/aluminum (2.5nm) is used

as an example 13 cap layer (Ta layer is an upside). A table 38 - a table 40 show the

relation between the milling depth (from a free layer front face) of the NiFe layer

which is a free layer, and the magnitude of the bias field for a test piece center

section, and a table 38 shows the case where a table 40 performs ion milling after

heat treatment of 300 degrees C - 5 hours, when ion milling is performed after a

table 39 performed heat treatment of 250 degrees C - 5 hours, when ion milling was

performed immediately after membrane formation. In addition, the Auger intensity

ratio is not indicated by these tables in order to indicate the inclination of almost

resemblance to be the case of the above-mentioned examples 1 and 2.

[0143]

[A table 38]

[0144]

[A table 39]

[0145]

[A table 40]

[0146] when ion milling is performed immediately after membrane formation, if 3nm or

more of free layers is etched, a vertical bias field will be set to 30 or less Oes.

Since it is that a Barkhausen noise incidence rate becomes 5% or less as mentioned

above, in order for it to make a Barkhausen noise incidence rate 5% or less that a

vertical bias field is set to 30 or less Oes, it turns out that what is necessary is

just to etch 3nm or more of free layers.

[0147] when membranes are formed and ion milling is carried out after heat treatment

of 250 degrees C - 5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into

5% or less, when it is necessary to etch 4nm or more of free layers, membranes are

formed further and ion milling is carried out after heat treatment of 300 degrees C -

5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or

less, it turns

out that it is necessary to etch 4nm or more of free layers.

[0148] If the two-layer film of Ta/aluminum is used as a cap layer, as compared with

the conventional technique which used the monolayer of Ta like the example 1, the

milling depth which is needed in order to make a Barkhausen noise incidence rate into

5% or less will become smaller.

[0149] Moreover, although sufficient vertical bias field cannot be acquired and a

Barkhausen noise incidence rate cannot be made into 5% or less if it carries out

after heat-treating the ion milling of a free layer, and the large milling depth is

not taken, since diffusion progresses, the milling depth which is needed if it

carries out immediately after membrane formation is comparatively small.

[0150] It is the case where the two-layer film of Ta (2.5nm)/Ru (2.5nm) is used as an

example 14 cap layer (Ta layer is an upside). A table 41 - a table 43 show the

relation between the milling depth (from a free layer front face) of the NiFe layer

which is a free layer, and the magnitude of the bias field for a test piece center

section, and a table 41 shows the case where a table 43 performs ion milling after

heat treatment of 300 degrees C - 5 hours, when ion milling is performed after a

table 42 performed heat treatment of 250 degrees C - 5 hours, when ion milling was

performed immediately after membrane formation. In addition, the Auger intensity

ratio is not indicated by these tables in order to indicate the

inclination of almost

resemblance to be the case of the above-mentioned examples 1 and 2.

[0151]

[A table 41]

[0152]

[A table 42]

[0153]

[A table 43]

[0154] when ion milling is performed immediately after membrane formation, if 2nm or

more of free layers is etched, a vertical bias field will be set to 30 or less Oes.

Since it is that a Barkhausen noise incidence rate becomes 5% or less as mentioned

above, in order for it to make a Barkhausen noise incidence rate 5% or less that a

vertical bias field is set to 30 or less Oes, it turns out that what is necessary is

just to etch 2nm or more of free layers.

[0155] when membranes are formed and ion milling is carried out after heat treatment

of 250 degrees C - 5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into

5% or less, when it is necessary to etch 3nm or more of free layers, membranes are

formed further and ion milling is carried out after heat treatment of 300 degrees C -

5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or less, it turns

out that it is necessary to etch 4nm or more of free layers.

[0156] If the two-layer film of Ta/Ru is used as a cap layer, as compared with the

conventional technique which used the monolayer of Ta like the example 1, the milling

depth which is needed in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or

less will become smaller.

[0157] Moreover, although sufficient vertical bias field cannot be acquired and a

Barkhausen noise incidence rate cannot be made into 5% or less if it carries out

after heat-treating the ion milling of a free layer, and the large milling depth is

not taken, since diffusion progresses, the milling depth which is needed if it

carries out immediately after membrane formation is comparatively small.

[0158] It is the case where the two-layer film of TiW (2.5nm)/Cu (2.5nm) is used as

an example 15 cap layer (a TiW layer is an upside). A table 44 - a table 46 show the

relation between the milling depth (from a free layer front face) of the NiFe layer

which is a free layer, and the magnitude of the bias field for a test piece center

section, and a table 44 shows the case where a table 46 performs ion milling after

heat treatment of 300 degrees C - 5 hours, when ion milling is performed after a

table 45 performed heat treatment of 250 degrees C - 5 hours, when ion milling was

performed immediately after membrane formation. In addition, the Auger intensity

ratio is not indicated by these tables in order to indicate the inclination of almost

resemblance to be the case of the above-mentioned examples 1 and 2.

[0159]

[A table 44]

[0160]

[A table 45]

[0161]

[A table 46]

[0162] when ion milling is performed immediately after membrane formation, if 2nm or

more of free layers is etched, a vertical bias field will be set to 30 or less Oes.

Since it is that a Barkhausen noise incidence rate becomes 5% or less as mentioned

above, in order for it to make a Barkhausen noise incidence rate 5% or less that a

vertical bias field is set to 30 or less Oes, it turns out that what is necessary is

just to etch 2nm or more of free layers.

[0163] when membranes are formed and ion milling is carried out after heat treatment

of 250 degrees C - 5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into

5% or less, when it is necessary to etch 3nm or more of free layers, membranes are

formed further and ion milling is carried out after heat treatment of 300 degrees C -

5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or less, it turns

out that it is necessary to etch 3nm or more of free layers.

[0164] If the two-layer film of TiW/Cu is used as a cap layer, as compared with the

conventional technique which used the monolayer of Ta like the example 1, the milling

depth which is needed in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or

less will become smaller.

[0165] Moreover, although sufficient vertical bias field cannot be acquired and a

Barkhausen noise incidence rate cannot be made into 5% or less if it carries out

after heat-treating the ion milling of a free layer, and the large milling depth is

not taken, since diffusion progresses, the milling depth which is needed if it

carries out immediately after membrane formation is comparatively small.

[0166] It is the case where the two-layer film of TiW (2.5nm)/Rh (2.5nm) is used as

an example 16 cap layer (a TiW layer is an upside). A table 47 - a table 49 show the

relation between the milling depth (from a free layer front face) of the NiFe layer

which is a free layer, and the magnitude of the bias field for a test piece center

section, and a table 47 shows the case where a table 49 performs ion milling after

heat treatment of 300 degrees C - 5 hours, when ion milling is performed after a

table 48 performed heat treatment of 250 degrees C - 5 hours, when ion milling was

performed immediately after membrane formation. In addition, the Auger intensity

ratio is not indicated by these tables in order to indicate the inclination of almost

resemblance to be the case of the above-mentioned examples 1 and 2.

[0167]

[A table 47]

[0168]

[A table 48]

[0169]

[A table 49]

[0170] when ion milling is performed immediately after membrane

formation, if a

little less than 3nm or more of free layers is etched, a vertical bias field will be

set to 30 or less Oes. Since it is that a Barkhausen noise incidence rate becomes 5%

or less as mentioned above, in order for it to make a Barkhausen noise incidence rate

5% or less that a vertical bias field is set to 30 or less Oes, it turns out that

what is necessary is just to etch a little less than 3nm or more of free layers.

[0171] when membranes are formed and ion milling is carried out after heat treatment

of 250 degrees C - 5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into

5% or less, when membranes are formed and ion milling is further carried out after

heat treatment of 300 degrees C - 5 hours that what is necessary is just to etch 3nm

or more of free layers, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or

less, it turns out that what is necessary is just to etch 3nm or more of free layers.

[0172] If the two-layer film of Tiw/Rh is used as a cap layer, as compared with the

conventional technique which used the monolayer of Ta like the example 1, the milling

depth which is needed in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or

less will become smaller.

[0173] Moreover, although sufficient vertical bias field cannot be acquired and a

Barkhausen noise incidence rate cannot be made into 5% or less if it carries out

after heat-treating the ion milling of a free layer, and the large milling depth is

not taken, since diffusion progresses, the milling depth which is needed if it

carries out immediately after membrane formation is comparatively small.

[0174] It is the case where the two-layer film of TiW (2.5nm)/Ru (2.5nm) is used as

an example 17 cap layer (a TiW layer is an upside). A table 50 - a table 52 show the

relation between the milling depth (from a free layer front face) of the NiFe layer

which is a free layer, and the magnitude of the bias field for a test piece center

section, and a table 50 shows the case where a table 52 performs ion milling after

heat treatment of 300 degrees C - 5 hours, when ion milling is performed after a

table 51 performed heat treatment of 250 degrees C - 5 hours, when ion milling was

performed immediately after membrane formation. In addition, the Auger intensity

ratio is not indicated by these tables in order to indicate the inclination of almost

resemblance to be the case of the above-mentioned examples 1 and 2.

[0175]

[A table 50]

[0176]

[A table 51]

[0177]

[A table 52]

[0178] when ion milling is performed immediately after membrane formation, if 2nm or

more of free layers is etched, a vertical bias field will be set to 30 or less Oes.

Since it is that a Barkhausen noise incidence rate becomes 5% or less

as mentioned

above, in order for it to make a Barkhausen noise incidence rate 5% or less that a

vertical bias field is set to 30 or less Oes, it turns out that what is necessary is

just to etch 2nm or more of free layers.

[0179] when membranes are formed and ion milling is carried out after heat treatment

of 250 degrees C - 5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into

5% or less, when it is necessary to etch 3nm or more of free layers, membranes are

formed further and ion milling is carried out after heat treatment of 300 degrees C -

5 hours, in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or less, it turns

out that it is necessary to etch 4nm or more of free layers.

[0180] If the two-layer film of TiW/Ru is used as a cap layer, as compared with the

conventional technique which used the monolayer of Ta like the example 1, the milling

depth which is needed in order to make a Barkhausen noise incidence rate into 5% or

less will become smaller.

[0181] Moreover, although sufficient vertical bias field cannot be acquired and a

Barkhausen noise incidence rate cannot be made into 5% or less if it carries out

after heat-treating the ion milling of a free layer, and the large milling depth is

not taken, since diffusion progresses, the milling depth which is needed if it

carries out immediately after membrane formation is comparatively small.

[0182] In addition, although the operation gestalt and example which were described

above are related with a spin bulb MR sensor, although MR sensor of this invention

has a similar configuration, it also contains the spin tunnel MR sensor which used

the thin insulator layer of thickness for the non-magnetic-material layer, and used

the tunnel effect.

[0183] This invention cannot be shown in instantiation, and not all the operation

gestalten described above can show it restrictively, and can carry out this invention

in other various deformation modes and modification modes. Therefore, the range of

this invention is specified by only a claim and its equal range.

[0184]

[Effect of the Invention] As explained to the detail above, in case the 2nd

antiferromagnetic substance layer for the switched connection for generating the

vertical bias which controls the magnetic domain of a free layer is formed according

to this invention, he is trying to remove the both ends of a free layer to the

predetermined depth, and, moreover, the process to remove is performed before heat

treatment for the magnetization directional control of the 1st antiferromagnetic

substance layer of MR layered product. By removing the both ends of a free layer to

the predetermined depth, the part which the component element of the protective layer

produced when removing a protective layer diffused in the free layer can be removed

certainly, and good switched connection can be given between a free layer and the 2nd

antiferromagnetic substance layer for vertical bias fields.

[0185] moreover, good by performing the step to remove before heat treatment for the

magnetization directional control of the 1st antiferromagnetic substance layer,

without the component element of a protective layer being able to stop the degree

diffused in a free layer to the minimum and carrying out until clearance of the free

layer so deeply, since progress of diffusion by heat treatment can be controlled. The

thickness of a free layer becoming thinner future still as for this and an interval

make a production process remarkably easy. Therefore, good switched connection can be

given easily and certainly between a free layer and the antiferromagnetic substance

layer for vertical bias fields.

[0186] According to this invention, a protective layer further Cu, aluminum, Rh, Ru,

Pt, [whether it is formed by one monolayer chosen from RuRhMn, PtMn, PtMnRh, and

TiW, and] Or by being formed by one two-layer film chosen from Ta/PtMn, Ta/Cu,

Ta/aluminum, Ta/Ru, TiW/Cu, TiW/Rh, and TiW/Ru Since the degree which the component

element of a protective layer diffuses in a free layer by ion milling can be made

remarkably small as compared with the case where it constitutes from monolayer of Ta

like the former it leads to it being good without carrying out until milling

clearance of the free layer so deeply, and means that the large thickness of the free

layer after milling can be taken. Therefore, a production process becomes very easy

even if the thickness of a free layer becomes thinner future still.
Consequently,

good switched connection can be given easily and certainly between a
free layer and

the 2nd antiferromagnetic substance layer for vertical bias fields.

[Translation done.]